



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

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

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

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

**TEMA: “ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LOS
MATERIALES DE FABRICACIÓN DEL INYECTOR Y LA BOMBA
DE ALTA PRESIÓN AL TRABAJAR CON MEZCLA
COMBUSTIBLE OBTENIDO A PARTIR DEL ACEITE
RECICLADO DE FRITURAS”**

**AUTORES: BYRON SANTIAGO ACUÑA HIDALGO
 SANTIAGO JAVIER MORALES IZAMA**

DIRECTOR: PhD. MARCOS GUTIÉRREZ

LATACUNGA

2016



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, “**ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LOS MATERIALES DE FABRICACIÓN DEL INYECTOR Y LA BOMBA DE ALTA PRESIÓN AL TRABAJAR CON MEZCLA COMBUSTIBLE OBTENIDO A PARTIR DEL ACEITE RECICLADO DE FRITURAS**” realizado por los señores **BYRON SANTIAGO ACUÑA HIDALGO** y **SANTIAGO JAVIER MORALES IZAMA**, ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar a los señores **BYRON SANTIAGO ACUÑA HIDALGO** y **SANTIAGO JAVIER MORALES IZAMA** para que lo sustente públicamente.

Latacunga, 25 de octubre del 2016



PhD. MARCOS XAVIER GUTIÉRREZ OJEDA
DIRECTOR



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, **BYRON SANTIAGO ACUÑA HIDALGO**, con cédula de identidad N° 171711084-3, y **SANTIAGO JAVIER MORALES IZAMA**, con cédula de identidad N° 100328697-6, declaramos que este trabajo de titulación **“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LOS MATERIALES DE FABRICACIÓN DEL INYECTOR Y LA BOMBA DE ALTA PRESIÓN AL TRABAJAR CON MEZCLA COMBUSTIBLE OBTENIDO A PARTIR DEL ACEITE RECICLADO DE FRITURAS”** ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas. Consecuentemente declaro que este trabajo es de nuestra autoría, en virtud de ello nos declaramos responsables del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

Latacunga, 25 de octubre del 2016

Byron Santiago Acuña Hidalgo

C.C.: 171711084-3

Santiago Javier Morales Izama

CC.: 100328697-6



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

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

AUTORIZACIÓN

Nosotros, **BYRON SANTIAGO ACUÑA HIDALGO** y **SANTIAGO JAVIER MORALES IZAMA**, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en la biblioteca Virtual de la institución el presente trabajo de titulación “**ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LOS MATERIALES DE FABRICACIÓN DEL INYECTOR Y LA BOMBA DE ALTA PRESIÓN AL TRABAJAR CON MEZCLA COMBUSTIBLE OBTENIDO A PARTIR DEL ACEITE RECICLADO DE FRITURAS**” cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra autoría y responsabilidad.

Latacunga, 25 de octubre del 2016

Byron Santiago Acuña Hidalgo

C.C.: 171711084-3

Santiago Javier Morales Izama

CC.: 100328697-6

DEDICATORIA

A mis padres, en especial a mi gordita bella Wilma Hidalgo, quien ha estado conmigo en los mejores y peores momentos, aquella persona llena de fortaleza e hidalguía que por un futuro mejor para sus hijos tuvo que hacer patria en otro país y enseñarnos a luchar por nuestros sueños; a mis hermanos Katty y Danny por aconsejarme y motivarme a ser una mejor persona con sus palabras de aliento y por quienes he aprendido que nunca hay que darse por vencido, y por último ti amor mío María José Benítez por brindarme esa fuerza para luchar cuando me encontraba solo.

Byron Santiago Acuña Hidalgo

DEDICATORIA

Dedico esta investigación especialmente a mis padres Rosa y Manuel quienes con su sacrificio y valores me enseñaron a recorrer el camino del bien y me motivaron siempre a alcanzar esta profesión tan anhelada desde pequeño, me siento orgulloso de ser su hijo, a mis hermanos Jairo y Daniel por su apoyo incondicional y mostrarme que la verdadera riqueza es la tranquilidad, a mis sobrinos Daniela y Álvaro por ser el motor de mi vida, a mis tres ángeles del cielo que siempre permanecerán en mi memoria y mi corazón De manera especial también dedico este logro a mi querida Tía Ruby por guiarme en los momentos más difíciles y mantener viva la llama de mis sueños.

Santiago Morales

AGRADECIMIENTO

El más sincero agradecimiento a mi tutor de tesis el Dr. Marcos Gutiérrez quien ha sabido dedicarnos el tiempo necesario para compartir sus valiosos e incomparables conocimientos en el proyecto, siendo de gran importancia para poder culminar la carrera universitaria.

Por último, pero no menos importante a cada uno de mis amigos con quienes conocí el significado de la verdadera amistad y compartí momentos inolvidables, tanto en la vida social, como en áreas del conocimiento, Sr(es): Cesar Báez, Víctor Bonilla, Marcelo Manosalvas, Juan Carlos Ortiz, José Luis Sanguña, José Luis Rodríguez, Carlos Herrera, Jesica Peñaherrera, mil gracias por convertirse en esa familia bien llamada ñañitos broo.

Byron Santiago Acuña Hidalgo

AGRADECIMIENTO

Agradezco de la manera más comedida a mi estimado Director de tesis Ing. Marcos Gutiérrez PhD. por emplear su valioso tiempo en este proyecto y confiar en nuestras capacidades para efectuarlo.

A mis amigos y compañeros que compartieron sus verdaderos valores de amistad y compañerismo en esta etapa de mi vida universitaria. Los momentos vividos no los cambio por nada

Santiago Morales

RECONOCIMIENTO

El presente trabajo forma parte del grupo de investigación SEM R&D desarrollándose el proyecto denominado Mezclas Combustibles Ecológicas.

El proyecto fue desarrollado de manera conjunta y activa con los siguientes integrantes:

Dr. Marcos Gutiérrez

Ing. Germán Erazo

Ing. Catherine Donoso

Srta. Carolina Villacís

Sr. Henry Pavón

Sr. Alex Altamirano

Sr. David Altamirano

Sr. David Burgos

Sr. Ricardo Analuisa

Sr. Edison Vizcaíno

Se agradece y se reconoce el trabajo conjunto de cada uno de los integrantes durante todo el proyecto de mezclas combustibles.

ÍNDICE DE CONTENIDO

PORTADA	i
CERTIFICACIÓN.....	ii
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	iii
AUTORIZACIÓN	iv
DEDICATORIA	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO	vii
AGRADECIMIENTO	viii
RECONOCIMIENTO.....	ix
ÍNDICE DE CONTENIDOS	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xvi
ÍNDICE DE TABLAS	xx
RESUMEN.....	xxiv
ABSTRACT	xxv

CAPÍTULO I

1. GENERALIDADES	1
1.1. Antecedentes	1
1.2. Planteamiento del problema.....	2
1.3. Descripción resumida del proyecto	3
1.4. Justificación e importancia	5
1.5. Objetivos	6
1.5.1. Objetivo general	6
1.5.2. Objetivos específicos	6
1.6. Metas	7
1.7. Hipótesis	7
1.8. Variables de investigación:.....	7
1.8.1. Variables Dependientes:	7
1.8.2. Variables Independientes:.....	7
1.9 Metodología de desarrollo del proyecto.	7

CAPÍTULO II

2.	MARCO TEÓRICO	10
2.1.	Sistema de inyección Common Rail.....	10
2.1.1.	Estructura.....	11
2.1.2.	Funcionamiento.....	12
a.	Generación de presión.....	12
b.	Regulación de la presión.....	13
c.	Inyección.....	15
2.1.3.	Sensores del Sistema CRDI.....	15
2.2.	Bomba de alta presión Denso HP3	17
2.2.1.	Funcionamiento.....	18
2.2.2.	Flujo de combustible global de la bomba de suministro.....	19
2.2.3.	Componentes y características	19
a.	Funciones de los componentes.....	21
a.1.	Bomba de alimentación.....	21
a.2.	Válvula reguladora	22
a.3.	Válvula de control de succión SCV	22
a.4.	Unidad de bomba (leva excéntrica, leva anular, émbolo buzo)	24
a.5.	Válvula de descarga.....	25
a.6.	Sensor de temperatura del combustible.....	26
2.3.	Inyector CRDI DENSO X2.....	26
2.3.1.	Componentes y características	27
2.3.2.	Funcionamiento.....	28
a.	Sin inyección	28
b.	Inyección.....	29
c.	Final de la inyección.....	29
2.3.3.	Circuito de funcionamiento del inyector	30
2.4.	Banco comprobador de inyectores CRDI	31
2.4.1.	Características de operación.....	31
a.	Identificación y partes del banco de pruebas	31

b.	Descripción de los componentes del banco de pruebas CRDI	32
2.4.2.	Sistemas del banco de pruebas	33
a.	Sistema de baja presión.....	33
b.	Sistema de alta presión.....	34
2.5.	Biodiesel	35
2.5.1.	Biocombustibles de segunda generación.....	35
2.5.2.	Clasificación y composición	36
2.5.3.	Transesterificación del biodiesel	39
a.	Calidad del aceite reciclado de frituras	40
b.	Concentración y tipo de catalizador.	40
2.6.	Funcionamiento mecánico en el inyector	41
2.6.1.	Control de estanqueidad	42
2.6.2.	Control de pulverización y dirección de chorro.....	42
2.6.3.	Control de presión y tarado	43
2.6.4.	Control de goteo.....	44
2.6.5.	Control de fuga de retorno	44

CAPÍTULO III

3.	ENSAYOS DE DURABILIDAD	45
3.1.	Biodiesel	45
3.1.1.	Biodiesel en el Ecuador	45
3.1.2.	Obtención del biodiesel.....	48
a.	Etapa de mezclado	50
b.	Etapa de reacción	51
c.	Etapa de lavado	52
d.	Etapa de filtrado	52
3.1.3.	Caracterización del biodiesel.	53
3.1.4.	Mezcla combustible.....	54
3.2.	Selección de los elementos del banco CRDI	55
3.2.1.	Selección de la bomba de alta presión.	56
3.2.2.	Selección de los inyectores.....	56

3.2.3.	Depósito de inyección sumergida	56
a.	Función	56
b.	Modelado del depósito de inyección.	57
3.2.4.	Sistema de refrigeración del combustible	58
3.2.5.	Módulo impulsor de los inyectores	58
a.	Partes del Hardware	58
b.	Diagrama del circuito de impulsión	59
c.	Funcionamiento del módulo	60
d.	Cálculos del tiempo de inyección de referencia bajo condiciones reales	64
b.	Operación del módulo	68
3.3.	Ensayos de durabilidad.....	71
3.3.1.	Operacionalización del banco de pruebas	71
3.3.2.	Trabajos en la bomba de alta presión HP3.	73
a.	Desmontaje.....	73
b.	Desarmado.....	74
c.	Armado	75
d.	Montaje	75
3.3.3.	Trabajos en los inyectores	76
a.	Desmontaje.....	76
b.	Desarmado.....	76
c.	Armado	77

CAPÍTULO IV

4.	ANÁLISIS Y RESULTADOS	78
4.1.	Comprobación y análisis del comportamiento del material en los componentes de la bomba de alta presión	78
4.1.1.	Peso.....	78
a.	Rotor interno	79
b.	Rotor externo	80
c.	Chaveta.....	82

d.	Separador	83
e.	Tapa de la bomba de alimentación	85
f.	Bomba de succión Inferior.....	86
g.	Émbolo buzo inferior	87
h.	Bomba de succión superior.....	89
i.	Émbolo buzo superior	90
j.	Leva anular	91
k.	Tapa.....	93
l.	Árbol de levas	94
4.1.2.	Desgaste	95
4.2.	Comprobación y análisis del comportamiento del material en los componentes del inyector	98
4.2.1.	Peso.....	98
a.	Portatobera	98
b.	Tobera.....	100
c.	Rotor	101
d.	Varilla de empuje	103
e.	Aguja.....	104
f.	Resorte	106
g.	Guía I	107
h.	Guía II	109
i.	Arandela de presión inferior	110
j.	Arandela de presión superior	112
4.2.2.	Desgaste	113
4.3.	Pruebas de funcionamiento mecánico del inyector	116
4.3.1.	Inductancia.....	117
4.3.2.	Resistencia.....	119
4.3.3.	Caudal de entrega y retorno de combustible.....	120
a.	Máxima carga.....	120
b.	Media carga	122
c.	Mínima carga	125

4.4.	Comprobación y análisis del comportamiento del material del inyector	126
4.4.1.	Comportamiento del material en la aguja del inyector	127
4.4.2.	Comportamiento del material en la tobera del inyector	128

CAPÍTULO V

5.	MARCO ADMINISTRATIVO.....	130
5.1.	Recursos.....	130
5.1.1.	Recursos humanos.	130
5.1.2.	Recursos tecnológicos.	131
5.1.3.	Recursos materiales.	131
5.1.4.	Presupuesto.	132
5.1.5.	Cronograma	133

CAPÍTULO VI

6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	134
6.1.	Conclusiones.....	134
6.2.	Recomendaciones	136

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	137
ANEXOS.....	140

ANEXO A. PROGRAMACIÓN DEL MÓDULO IMPULSOR

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura No. 1.	Diagrama Causa y efecto	3
Figura No. 2.	Modelo simplificado de las etapas del método científico	8
Figura No. 3.	Sistema CRDI.....	10
Figura No. 4.	Sectores del sistema de la gestión del motor con sistema CRDI	11
Figura No. 5.	Regulación en el lado de alta presión	13
Figura No. 6.	Regulación de caudal del lado de aspiración	14
Figura No. 7.	Sistema de doble regulación	15
Figura No. 8.	Sensor de presión del riel estructura	16
Figura No. 9.	Bomba de alta presión	17
Figura No. 10.	Movimiento del émbolo buzo.....	18
Figura No. 11.	Partes de la bomba HP3	19
Figura No. 12.	Bomba HP3.....	20
Figura No. 13.	Válvula de alimentación	21
Figura No. 14.	Válvula reguladora	22
Figura No. 15.	SCV totalmente abierto	23
Figura No. 16.	SCV totalmente cerrado	24
Figura No. 17.	Partes de la unidad de la bomba.....	24
Figura No. 18.	Rotación del árbol de levas	25
Figura No. 19.	Válvula de descarga.....	25
Figura No. 20.	Sensor de temperatura de combustible.....	26
Figura No. 21.	Inyector Denso X2.....	27
Figura No. 22.	Componentes del inyector Denso X2	28
Figura No. 23.	Funcionamiento del inyector denso X2	29
Figura No. 24.	Funcionamiento de la EDU.....	30
Figura No. 25.	Activación directa de la ECU	30
Figura No. 26.	Componentes del banco de pruebas.....	31
Figura No. 27.	Sistema de baja presión	34

Figura No. 28.	Circuito de alta presión.....	34
Figura No. 29.	Biocombustibles de segunda generación.....	36
Figura No. 30.	Forma de chorro de los inyectores	43
Figura No. 31.	Producción, consumo y excedentes de aceite de palma	47
Figura No. 32.	Exportaciones de aceite crudo de palma por país	47
Figura No. 33.	Proceso de reacción del biodiesel.....	51
Figura No. 34.	Proceso de separación del biodiesel.....	51
Figura No. 35.	Proceso de lavado del biodiesel.....	52
Figura No. 36.	Biodiesel de aceite reciclado de frituras	52
Figura No. 37.	Biodiesel B100	53
Figura No. 38.	Diésel y biodiesel	54
Figura No. 39.	Preparación de la mezcla combustible B5.....	54
Figura No. 40.	Mezcla combustible B5	55
Figura No. 41.	Depósito de inyección	57
Figura No. 42.	Nivel del combustible	57
Figura No. 43.	Modelado del depósito de inyección	57
Figura No. 44.	Enfriador de aceite de transmisión	58
Figura No. 45.	Partes de Hardware	58
Figura No. 46.	Diagrama del circuito de impulsión.....	59
Figura No. 47.	Circuito de potencia.....	60
Figura No. 48.	Fuente de alimentación	61
Figura No. 49.	Circuito del teclado.....	62
Figura No. 50.	Circuito Buzzer	62
Figura No. 51.	Conector del display	63
Figura No. 52.	Microcontrolador.....	63
Figura No. 53.	Panel de control modulo impulsor	68
Figura No. 54.	Balanza analítica	78
Figura No. 55.	Rotor interno.....	79
Figura No. 56.	Desgaste del rotor interno	79
Figura No. 57.	Rotor externo.....	80

Figura No. 58.	Desgaste del rotor externo	81
Figura No. 59.	Chaveta	82
Figura No. 60.	Gráfica de desgaste de la chaveta	82
Figura No. 61.	Separador.....	83
Figura No. 62.	Desgaste del separador	84
Figura No. 63.	Tapa de la bomba de alimentación	85
Figura No. 64.	Desgaste de la tapa de la bomba de alimentación	85
Figura No. 65.	Bomba de succión interior	86
Figura No. 66.	Desgaste de la bomba de succión inferior.....	87
Figura No. 67.	Émbolo buzo interior	87
Figura No. 68.	Émbolo inferior	88
Figura No. 69.	Bomba de succión superior	89
Figura No. 70.	Desgaste de la bomba de succión superior.....	89
Figura No. 71.	Émbolo buzo superior	90
Figura No. 72.	Desgaste del émbolo buzo superior	90
Figura No. 73.	Leva anular.....	91
Figura No. 74.	Desgaste de la leva anular	92
Figura No. 75.	Tapa	93
Figura No. 76.	Gráfica de desgaste de la tapa.....	93
Figura No. 77.	Árbol de levas.....	94
Figura No. 78.	Desgaste del árbol de levas	94
Figura No. 79.	Portatobera.....	98
Figura No. 80.	Desgaste de la portatobera	99
Figura No. 81.	Tobera	100
Figura No. 82.	Desgaste de la tobera	100
Figura No. 83.	Rotor	101
Figura No. 84.	Desgaste del rotor	102
Figura No. 85.	Varilla de empuje.....	103
Figura No. 86.	Desgaste de la varilla de empuje	103
Figura No. 87.	Aguja	104
Figura No. 88.	Desgaste de la aguja.....	105

Figura No. 89.	Resorte.....	106
Figura No. 90.	Desgaste del resorte	106
Figura No. 91.	Guía I.....	107
Figura No. 92.	Desgaste de la guía II	108
Figura No. 93.	Guía II.....	109
Figura No. 94.	Desgaste de la guía II	109
Figura No. 95.	Arandela de presión inferior	110
Figura No. 96.	Desgaste de la arandela de presión inferior.....	111
Figura No. 97.	Arandela de presión superior	112
Figura No. 98.	Desgaste de la arandela de presión superior.....	112
Figura No. 99.	Banco de pruebas D52R ZAPP.....	117
Figura No. 100.	Inductancia.....	118
Figura No. 101.	Resistencia.....	119
Figura No. 102.	Retorno de combustible en máxima carga	120
Figura No. 103.	Entrega de combustible en máxima carga	121
Figura No. 104.	Entrega de combustible en media carga A.....	123
Figura No. 105.	Entrega de combustible en media carga B.....	124
Figura No. 106.	Entrega de combustible en mínima carga	125
Figura No. 107:	Microscopio Meiji Techno	126
Figura No. 108:	Aguja y del punto de verificación del microscópico	127
Figura No. 109:	Sección de la tobera analizada con el microscopio	128
Figura No. 110.	Cronograma de actividades.....	133

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla No. 1.	Funciones de cada componente de la bomba de alta presión HP3	21
Tabla No. 2.	Descripción de los componentes del banco de pruebas.....	32
Tabla No. 3.	Clasificación de aceites para uso como biocombustible.....	37
Tabla No. 4.	Tipos de catalizadores para la transesterificación	40
Tabla No. 5.	Instrumentos de laboratorio para la obtención de biodiesel	48
Tabla No. 6.	Insumos para la obtención de biodiesel por el método de transesterificación.....	50
Tabla No. 7.	Resultados de la caracterización de las mezclas combustibles a partir de aceite.	53
Tabla No. 8.	Ficha técnica del banco de pruebas	55
Tabla No. 9.	Valores de funcionamiento del inyector Denso.....	56
Tabla No. 10.	Operacionalización del módulo impulsor electrónico	68
Tabla No. 11	Operacionalización del módulo impulsor electrónico	69
Tabla No. 12	Operacionalización del banco de pruebas.....	71
Tabla No. 13	Desmontaje Bomba de alta presión HP3.....	73
Tabla No. 14	Desarmado bomba de alta presión HP3.....	74
Tabla No. 15	Desmontaje del inyector	76
Tabla No. 16.	Desarmado del inyector.....	76
Tabla No. 17.	Desgaste del rotor interno	79
Tabla No. 18.	Estimaciones de desgaste del rotor interno.....	80
Tabla No. 19.	Estimaciones de desgaste del rotor externo.....	81
Tabla No. 20.	Desgaste de la chaveta	82
Tabla No. 21.	Estimaciones de desgaste de la chaveta.....	83
Tabla No. 22.	Desgaste del separador.....	83

Tabla No. 23.	Estimaciones de desgaste del separador	84
Tabla No. 24.	Desgaste de la bomba de alimentación.....	85
Tabla No. 25.	Estimaciones de desgaste de la tapa de la bomba de alimentación.....	86
Tabla No. 26.	Desgaste de la bomba de succión inferior.....	86
Tabla No. 27.	Desgaste del émbolo buzo inferior	87
Tabla No. 28.	Estimaciones de desgaste del émbolo inferior	88
Tabla No. 29.	Desgaste de la bomba de succión superior.....	89
Tabla No. 30.	Desgaste del émbolo buzo superior	90
Tabla No. 31.	Estimaciones de desgaste del émbolo buzo superior.....	91
Tabla No. 32.	Desgaste de la leva anular	91
Tabla No. 33.	Estimaciones de desgaste de la leva anular.....	92
Tabla No. 34.	Desgaste de la tapa.....	93
Tabla No. 35.	Desgaste del árbol de levas	94
Tabla No. 36.	Comportamiento del material en la bomba de succión	95
Tabla No. 37.	Comprobación del material en el separador superior.....	96
Tabla No. 38.	Comprobación del material en el separador inferior.....	96
Tabla No. 39.	Comprobación del material en el émbolo buzo superior.....	96
Tabla No. 40.	Comprobación del material en el émbolo buzo inferior.....	97
Tabla No. 41.	Comprobación del material en la leva frontal.....	97
Tabla No. 42.	Comprobación del material en la leva anular cara posterior.....	98
Tabla No. 43.	Desgaste de la portatobera	99
Tabla No. 44.	Estimaciones de desgaste de la portatobera.....	99
Tabla No. 45.	Desgaste de la tobera.....	100
Tabla No. 46.	Estimaciones de desgaste de la tobera	101

Tabla No. 47.	Desgaste del rotor	102
Tabla No. 48.	Estimaciones de desgaste del rotor.....	102
Tabla No. 49.	Desgaste de la varilla de empuje.....	103
Tabla No. 50.	Estimaciones de desgaste de la varilla de empuje.....	104
Tabla No. 51.	Desgaste de la aguja.....	104
Tabla No. 52.	Estimaciones de desgaste de la aguja	105
Tabla No. 53.	Desgaste del resorte	106
Tabla No. 54.	Estimaciones de desgaste del resorte.....	107
Tabla No. 55.	Desgaste de la guía I.....	107
Tabla No. 56.	Estimaciones de desgaste de la guía I	108
Tabla No. 57.	Desgaste de la guía II.....	109
Tabla No. 58.	Estimaciones de desgaste de la guía II	110
Tabla No. 59.	Desgaste de la arandela de presión inferior	110
Tabla No. 60.	Estimaciones de desgaste de la arandela de presión inferior.....	111
Tabla No. 61.	Desgaste de la arandela de presión superior	112
Tabla No. 62.	Estimaciones de desgaste de la arandela de presión superior.....	113
Tabla No. 63.	Comprobación del material en la bomba de succión	114
Tabla No. 64.	Comprobación del material la arandelas de ajuste de presión	114
Tabla No. 65.	Comprobación del material en la varilla de empuje.....	115
Tabla No. 66.	Comprobación del material rotor, cara superior.....	115
Tabla No. 67.	Comprobación del material rotor, cara inferior.....	116
Tabla No. 68.	Comprobación del material de la aguja	116
Tabla No. 69.	Valores operacionales para las pruebas de inductancia y resistencia.....	117
Tabla No. 70.	Inductancia	118
Tabla No. 71.	Resistencia (Ω).....	119

Tabla No. 72.	Valores operacionales de entrega y retorno de combustibles en máxima carga	120
Tabla No. 73.	Retorno de combustible en máxima carga	120
Tabla No. 74.	Entrega de combustible en máxima carga.....	121
Tabla No. 75.	Valores operacionales de entrega y retorno de combustibles en media carga A.....	122
Tabla No. 76.	Entrega de combustible en media carga A.....	122
Tabla No. 77.	Valores operacionales de entrega y retorno de combustibles en media carga B.....	124
Tabla No. 78.	Entrega de combustible en media carga B.....	124
Tabla No. 79.	Valores operacionales de entrega y retorno de combustibles en mínima carga	125
Tabla No. 80.	Entrega de combustible en mínima carga	125
Tabla No. 81.	Visualización del comportamiento del material en la aguja del inyector.....	127
Tabla No. 82.	Visualización del comportamiento del material en la tobera.....	128
Tabla No. 83.	Recursos Humanos	130
Tabla No. 84.	Recursos tecnológicos.....	131
Tabla No. 85.	Recursos materiales	131
Tabla No. 86.	Presupuesto	132

RESUMEN

Con los avances tecnológicos y la demanda por encontrar combustibles amigables con el medioambiente aplicable al motor y sus sistemas en constante actualización, se realizó la presente investigación con el fin de obtener resultados palpables de durabilidad del material de los inyectores y la bomba de alta presión al trabajar con una mezcla combustible a partir de aceite de frituras. Por iniciativa del Grupo de Investigación SAEM R&D se realizó la obtención del biodiesel, para así, obtener la mezcla combustible ecológica B5, la misma fue caracterizada y probada en bancos de pruebas especiales, destinados para sistemas de inyección de combustible. La prueba de durabilidad se desarrolló en períodos de trabajo de 50, 100, 150 y 200 horas en cuatro inyectores respectivamente, tomando como referencia un quinto inyector con 0 horas de trabajo, se verificó el efecto de la mezcla combustible en el funcionamiento mecánico como: inductancia, resistencia, entrega y retorno de combustible, además el análisis del comportamiento del material de cada inyector se efectuó en un microscopio a 100 micras de precisión. De la misma manera en la bomba de alta presión se comprobó la influencia de la mezcla combustible con un análisis cualitativo y gravitatorio. Con los resultados de cada prueba realizada en la investigación se registró un documento técnico científico con los datos precisos que permitieron determinar que la mezcla combustible B5 no es idónea con el material en los sistemas de inyección diésel.

PALABRAS CLAVE:

- **COMBUSTIBLES**
- **BANCO DE PRUEBAS**
- **INYECTOR**
- **BOMBA DE ALTA PRESIÓN**
- **MATERIALES**

ABSTRACT

Due to technological advances and demand to find friendly fuels with the environment pertinent to the engine and its constantly updated systems, this research It has been made in order to obtain tangible results of durability of the material injectors and high-pressure pump to work with a combustible mixture from frying oil.

The initiative of the R&D SAEM Research Group that obtained biodiesel to make the ecological B5 fuel mixture, this one was characterized and tested in special test banks and intended for fuel injection systems.

The durability test was conducted in working periods of 50, 100, 150 and 200 hours in four injectors respectively, with reference to a fifth injector with 0 hours, the effect of the combustible mixture in the mechanical operation is verified as: inductance, resistance, fuel delivery and return, plus analysis of material behavior of each injector is performed under a microscope to 100 micron precision. Similarly in the high pressure pump the influence of the combustible mixture only with a qualitative and gravitational analysis was checked.

With the result of each test in the scientific research, a technical document with precise data it was written which allowed us to determine whether the fuel mixture B5 isn't friendly with the material in diesel injection systems will be developed

KEYWORDS:

- **GAS**
- **TESTING BENCH**
- **INJECTOR**
- **HIGH PRESSURE PUMP**
- **MATERIALS**

CAPÍTULO I

1. GENERALIDADES

1.1. Antecedentes

Existe gran diversidad de inyectores que dependen del sistema de inyección, de la cámara de combustión y la aplicación para la cual se utilice cada motor, aunque se destaca que todos tienen similar principio de funcionamiento.

Es necesario una investigación de fuentes energéticas alternas y en particular de mezclas combustibles y los efectos que producen en diferentes aspectos tales como: el comportamiento de los materiales de fabricación del inyector y la bomba de alta presión en condiciones de trabajo definidas durante determinadas horas de operación.

Todos los valores que intervienen en el fenómeno de la combustión vienen influidos entre sí y es muy difícil ir anotando sus efectos separadamente. La penetración es afectada por la sección de paso y por la presión de inyección. Con la penetración adecuada (es decir, con la bomba e inyector en debidas condiciones) el motor combustiona de forma correcta. (Millares imperial, 1986)

La lubricidad es un factor importante, para la durabilidad de todo componente motor, en particular la bomba y los inyectores, pueden estar lubricados solo por medio del combustible. Una lubricación reducida produce un desgaste prematuro, al contrario, una lubricación mayor reduce el desgaste y aumenta el tiempo de vida de los componentes.

El B100 es un biodiesel altamente puro, que bajo mezclas combustible mantiene posibilidades de afectar y degradar varios dispositivos en los sistemas de inyección que contengan elastómeros o compuestos de caucho existentes en: mangueras de

paso de combustible, juntas de la bomba y componentes no compatibles con el biodiesel; lo que implica un mantenimiento de estos componentes para ser utilizados en mezcla mayores al 30% o puro. (Bernard, 2012)

(European automobile manufacturers association, Alliance of automobile manufacturers, Truck and engine manufacturers association, Japan automobile manufacturers association, 2013) indica que los fabricantes automotrices en el mundo aluden como prevención, no usar mezclas mayores al 5%. Cuestionan que el problema del biodiesel es la incompatibilidad en ciertos materiales. En los sistemas de inyección presenta bajas propiedades de flujo en frío y al ser higroscópico forma peróxidos, ácidos con gran cantidad de cadenas moleculares que pueden promover la existencia de corrosión en el sistema de inyección y la formación de depósitos.

Los inyectores son productos de alta tecnología de fabricación y justifica el alto costo que son los equipos de inyección, aunque desde el punto de vista mecánico, se efectúa un desgaste por trabajo bajo un tiempo prolongado de horas donde existen problemas en atomización y presión suministrada.

1.2. Planteamiento del problema

La investigación parte del desconocimiento del uso de aceite reciclado de frituras como fuente energética y al desarrollo como carburante de una mezcla combustible en nuestro país. La investigación y experimentación del mismo tienen por objeto la comprobación de las propiedades de los materiales de fabricación del inyector y la bomba de alta presión en determinados períodos de tiempo de trabajo.

El avance de la tecnología en el sector automotriz, la escasa investigación y la falta de equipos de comprobación de los materiales del inyector y la bomba de alta presión al trabajar con la mezcla combustible, promueve a realizar investigaciones que permitan generalizar el uso o no de los

combustibles alternativos de segunda generación en los sistemas de inyección diésel.

Existe la necesidad de investigar los efectos que determinan la durabilidad del sistema de inyección usando mezclas combustibles ecológicas. Estos efectos se deben determinar bajo condiciones que se aproximen al máximo a situaciones reales de uso en el motor. Esta investigación determina la factibilidad y viabilidad de usar la mezcla combustible.

Es necesario verificar periódicamente el correcto funcionamiento del inyector. Síntomas como: suciedad o desgaste son notorios en la emisión de humo negro en el escape, fuerte golpeteo del motor, pérdida de potencia, sobrecalentamiento, fallos de encendido y mayor consumo de combustible.

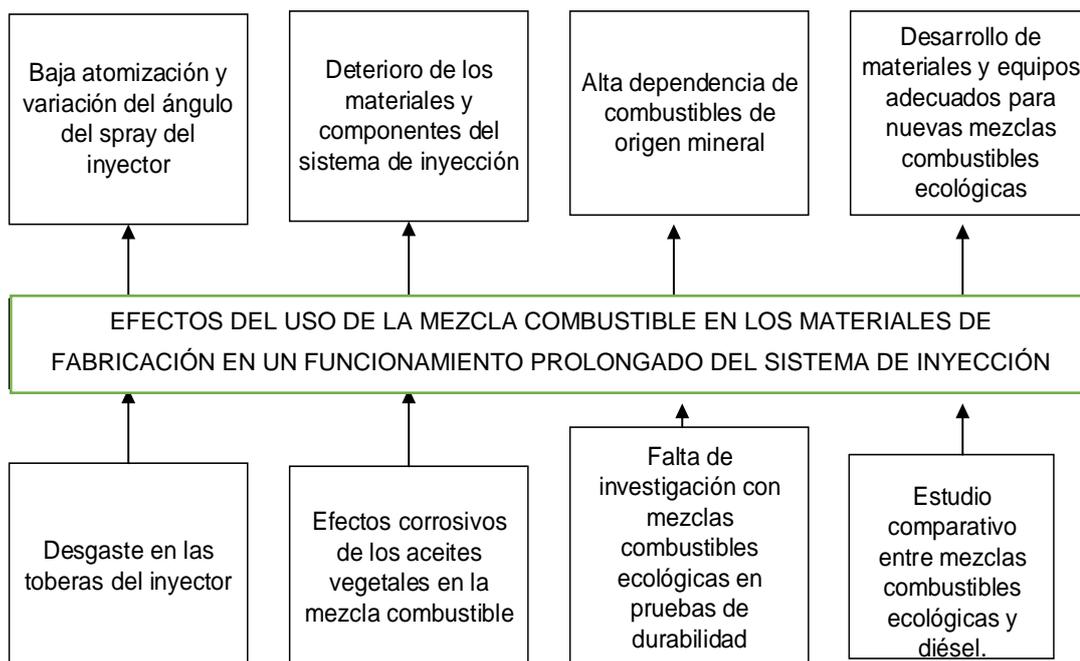


Figura No. 1. Diagrama Causa y efecto

1.3. Descripción resumida del proyecto

Por iniciativa del Grupo de Investigación SAEM R&D se obtuvieron mezclas combustibles ecológicas, las mismas que fueron caracterizadas y

probadas en motores diésel, en bancos de pruebas especiales destinados para sistemas de inyección de combustible. La presente investigación “Análisis del comportamiento de los materiales de fabricación del inyector y la bomba de alta presión al trabajar con mezcla combustible obtenido a partir del aceite reciclado de frituras” se concentra sólo en las pruebas de durabilidad tomando en cuenta los siguientes aspectos que se mencionan a continuación:

1. Se consultó información teórica procedente de fuentes confiables como: libros, tesis, bases digitales, revistas, artículos científicos y publicaciones gubernamentales.
2. El biodiesel se obtuvo en el laboratorio de Química de la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE Latacunga, continuando con el desarrollo de los biocombustibles como fuente energética alternativa para estandarizarse en nuestro país.
3. La investigación y pruebas de larga duración fueron analizadas con el banco de pruebas de inyectores CRDI en el laboratorio de motores de la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE Latacunga.
4. Se realizaron adecuaciones necesarias para la puesta a punto del banco de pruebas CRDI.
5. En el sistema hidráulico se verificó el correcto funcionamiento de la bomba de alta presión.
6. Se implementó un módulo impulsor electrónico, que emite pulsos de inyección a cada inyector.
7. La temperatura adecuada de trabajo en el combustible se controló por medio de un sistema de refrigeración en 30 °C.
8. El análisis del comportamiento de los materiales en los componentes de la bomba de alta presión e inyectores, se realizaron mediante pruebas gravimétricas en períodos de 50, 100, 150, 200 horas de trabajo continuo. Además, se registró el efecto físico producido del uso de la mezcla combustible B5 mediante fotografías de alta resolución.
9. Se verificó el estado de trabajo de los inyectores mediante pruebas de funcionamiento mecánico en el banco de pruebas D52R ZAPP, se

examinó la superficie de la aguja y tobera del inyector en el microscopio MEIJI TECHNO en el laboratorio de Metalurgia de la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE

10. Se elaboró un documento técnico científico con los datos obtenidos, se comprobó que el uso de la mezcla combustible B5 es nocivo en los sistemas de inyección diésel.

1.4. Justificación e importancia

El motor de combustión interna (mci) radica su operación en diferentes sectores como: marítimo, bombas de superficie, generadores, vehículos, compresores, etc. El sector automotriz realiza su diseño en función al tipo de combustible con el cual se operará el mci, siendo la mezcla combustible un carburante que toma relevancia en el mundo actual, son combustibles alternativos limpios y de fuentes renovables.

Es necesario investigar de qué manera reacciona el sistema de inyección al usar una mezcla combustible ecológica, a partir de aceite reciclado de frituras. Los resultados permiten determinar la factibilidad para el uso en el sistema de inyección CRDI.

El desconocimiento de los niveles de desgaste y el comportamiento de los materiales permisibles en el inyector y la bomba de alta presión que existe en nuestro país al trabajar con una mezcla combustible, han colocado al Ecuador en una situación de desigualdad en cuanto al desarrollo de investigaciones en el sector automotriz.

Según (SENESCYT, 2010) “El Plan Nacional Ciencia, Tecnología, Innovación y Saberes Ancestrales su política II, indica: Impulsar la generación y potenciación de la investigación científica, el desarrollo tecnológico, la innovación y la (re)valorización de los saberes ancestrales”.

Por ello los resultados de este proyecto de investigación permitieron vincularse y capacitar a la sociedad referente al estudio que se realizó para apoyar la implementación de tecnologías y estudios de actualidad.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo general

Analizar el comportamiento de los materiales de fabricación del inyector y la bomba de alta presión al trabajar con la mezcla combustible ecológica obtenida a partir del aceite reciclado de frituras para certificar su uso como un combustible alternativo.

1.5.2. Objetivos específicos

- Levantar información sobre inyectores, bomba de alta presión y temática inherente a la ejecución y realización del proyecto de investigación.
- Obtener la mezcla combustible a partir del aceite reciclado de frituras en el laboratorio de química.
- Seleccionar el inyector, la bomba de alta presión y puesta a punto del banco de pruebas.
- Realizar protocolo de pruebas de trabajo bajo un funcionamiento de 50, 100, 150, 200 horas.
- Verificar el estado del inyector y la bomba de alta presión acorde a los períodos establecidos de trabajo.
- Analizar los datos obtenidos para determinar el comportamiento de los materiales de fabricación del inyector y la bomba de alta presión al trabajar con mezcla combustible ecológica obtenida a partir del aceite reciclado de frituras con el fin de establecer la viabilidad de la mezcla combustible como fuente energética alternativa en el Ecuador.

1.6. Metas

- Confirmar la durabilidad de los materiales del sistema de inyección usando mezclas combustibles ecológicas.
- Desarrollar una investigación relacionada con los efectos producidos en los materiales de fabricación del inyector y la bomba de alta presión al utilizar mezcla combustible a partir del aceite reciclado de frituras como fuente energética.

1.7. Hipótesis

El uso de la mezcla combustible ecológica mantendrá las características de durabilidad de los materiales de fabricación del inyector y la bomba de alta presión con respecto al combustible de origen mineral.

1.8. Variables de investigación

Para el proyecto de investigación se aplicó las variables como son: variables dependientes y variables independientes.

1.8.1. Variable Dependiente

Durabilidad de los componentes del sistema de inyección.

1.8.2. Variable Independiente

Composición de la mezcla combustible ecológica.

1.9 Metodología de desarrollo del proyecto.

- **Método científico.**

La metodología empleada en el presente proyecto fue el método científico, la investigación cuantifica lo experimentado en base a un razonamiento técnico y científico, obedeciendo un proceso deductivo, examinando las mezclas combustibles ecológicas, como el sistema que se descompone en subcomponentes para el estudio y análisis comprendiendo las conexiones entre todos los componentes de la investigación. Al ser una metodología objetiva, cuantificable la imaginación y la intuición no forman parte de este método investigativo.

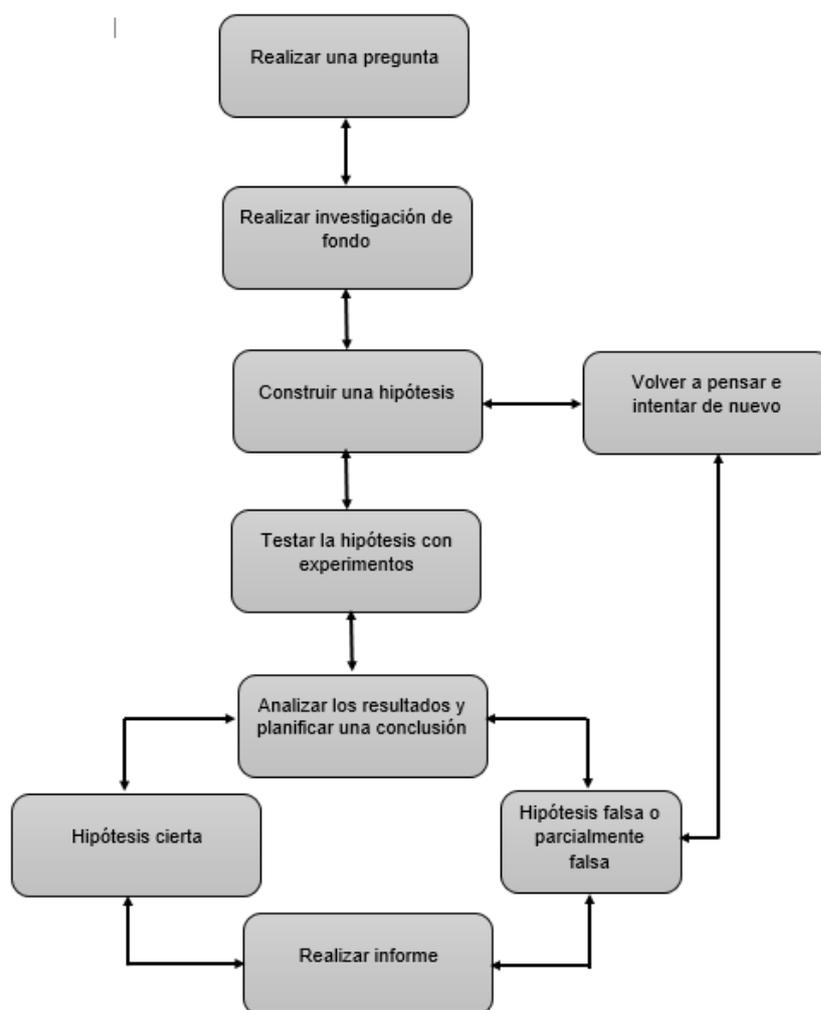


Figura No. 2. Modelo simplificado de las etapas del método científico

El modelo simplificado de las etapas del método científico se efectúa por medio de la observación acerca de los hechos objetos o fenómenos que llevan

a intensificar una investigación de fondo. El siguiente paso es plantear una hipótesis para verificar la veracidad mediante el método experimental de la hipótesis planteada, analizando sus resultados, obtener conclusiones que permitan desarrollar un informe de la investigación.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Sistema de inyección common rail

El autor (Bosch, 2005) menciona que el sistema por acumulador common rail, es uno de los más perfeccionados y se caracteriza por las diferentes posibilidades de variación en la configuración de los momentos de inyección y la presión de inyección, la bomba de alta presión efectúa la separación de la generación de presión y los inyectores la inyección.

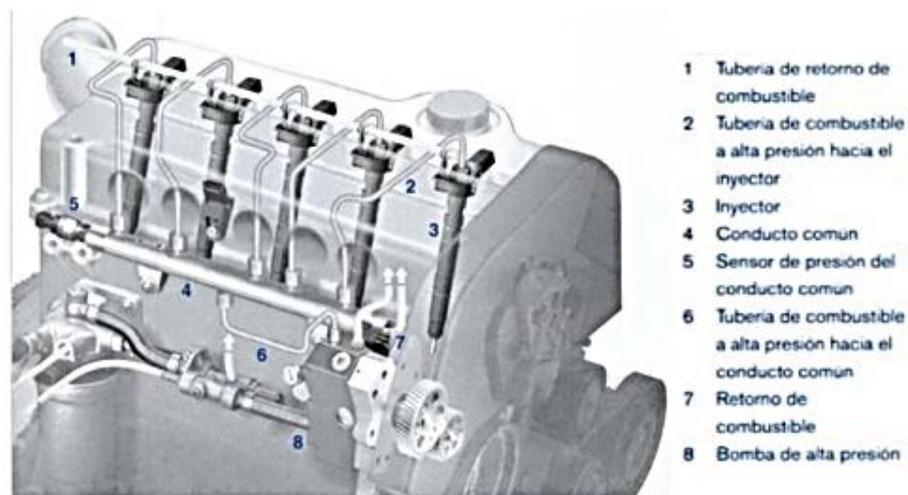


Figura No. 3. Sistema CRDI

Fuente: (Bosch, 2005)

El sistema common rail propone una elevada flexibilidad a la adaptación de la inyección al motor, por medio de:

- Alta presión de inyección desde 1600 bar hasta 1800 bar.
- Presión de inyección en funcionamiento varía entre 200 a 1800 bar.
- Inyección variable al inicio.
- Capacidad de realizar inyecciones previas. posteriores, como también pos inyecciones muy retardadas.

El sistema common rail, incrementa la potencia específica y reduce el consumo de combustible, las emisiones de gases contaminantes nocivos y el exceso de ruidos en los motores diésel.

2.1.1. Estructura

Los subsistemas del common rail Figura No. 4 son:

- Sistema de baja presión: Con los elementos de alimentación del diésel hasta la bomba de alta presión como el tanque de combustible, filtros, cañerías de baja presión, etc.
- Sistema de alta presión: Se constituye de bomba de suministro de alta presión, riel común, inyectores, mangueras y cañerías de alta presión.
- Sistema de calibración electrónica: Incluye la unidad de control, sensores y elementos de calibración del sistema.

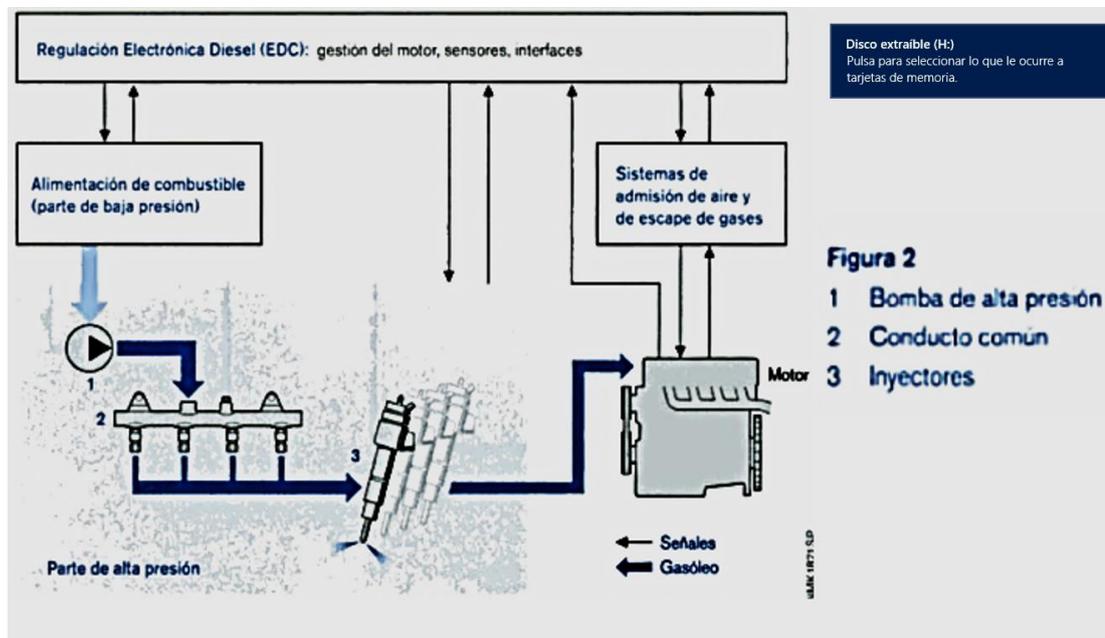


Figura No. 4. Sectores del sistema de la gestión del motor con sistema CRDI

Fuente: (Bosch, 2005)

El sistema common rail permite que la presión se ajuste al funcionamiento del motor. En el apartado 2.1.2.b se detalla las formas de regulación de alta presión del CRDI.

2.1.2. Funcionamiento

El autor (Bosch, 2005) indica que la generación de presión y la inyección se encuentran separadas en el sistema por acumulador common rail. La presión de inyección se efectúa independientemente del caudal de inyección y del régimen del motor.

Cada uno de los componentes del common rail es controlado por el sistema de regulación electrónica.

A. Generación de presión

La inyección y la separación de la generación de presión se realizan con un volumen de acumulación. El diésel sujeto a presión está disponible para la inyección en el volumen de acumulación del sistema common rail. La presión de inyección idónea es generada por la bomba de suministro de alta presión, accionada permanentemente por el motor de combustión interna. La bomba conserva la presión en el riel común independientemente del caudal de inyección y del número de revoluciones del motor. Puesto que la alimentación es uniforme, la bomba de suministro de alta presión posiblemente sea menor y con un par máximo de accionamiento, menor a los sistemas de inyección convencionales.

La bomba de alta presión, es una bomba de émbolos radiales, en los vehículos industriales concebida también en parte como una bomba de disposición en serie.

B. Regulación de la presión

Los procesos de regulación de alta presión en el sistema common rail son:

- **Regulación en el lado de alta presión**

Los vehículos turismo utilizan el conducto común con ayuda de una válvula reguladora de presión Figura No. 5, haciendo refluir el combustible innecesario a través de esta hacia el circuito de baja presión. Lo que provoca que la presión existente se adapte al conducto común y el cambio de carga al modificarse el funcionamiento.

La válvula reguladora de presión se localiza sobre el módulo común o en la bomba de suministro de alta presión.

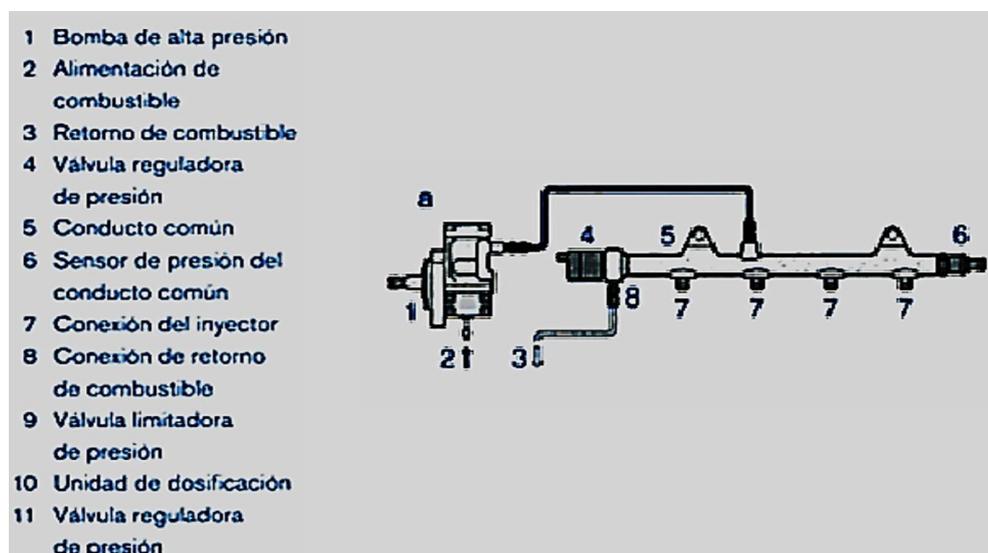


Figura No. 5. Regulación en el lado de alta presión

Fuente: (Bosch, 2005)

- **Regulación de caudal del lado de aspiración**

Una alternativa de regulación de caudal se da del lado de aspiración Figura No. 6 El módulo de dosificación unido a la bomba de suministro de alta

presión admite que la bomba abastezca al riel común del combustible precisamente necesario con el fin de conservar la presión de inyección exacta para el sistema common rail. La válvula limitadora de presión previene un incremento inaceptable de presión en el riel común si se produjese una avería.

Mediante este método es menor el volumen de combustible a alta presión y por ende es menor el consumo de potencia de la bomba de suministro de alta presión, mejorando así el consumo de combustible y disminuyendo la temperatura del combustible de retorno al depósito comparando con la regulación en el lado de alta presión.

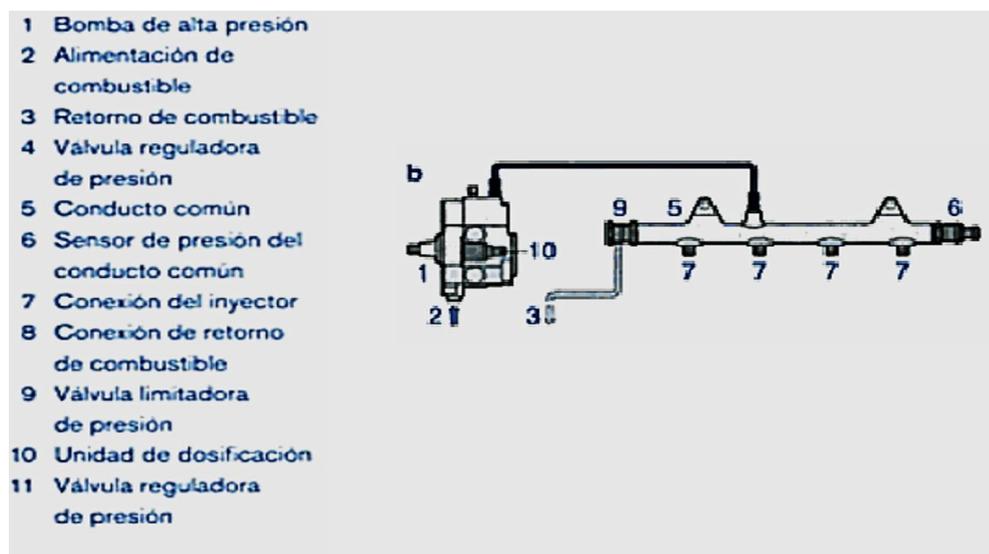


Figura No. 6. Regulación de caudal del lado de aspiración

Fuente: (Bosch, 2005)

- **Sistema de doble regulación**

Este sistema combina las ventajas obtenidas con la regulación de la presión en el lado de la aspiración mediante la unidad de dosificación y en el lado de alta presión por la válvula reguladora como se indica en la Figura No. 7.

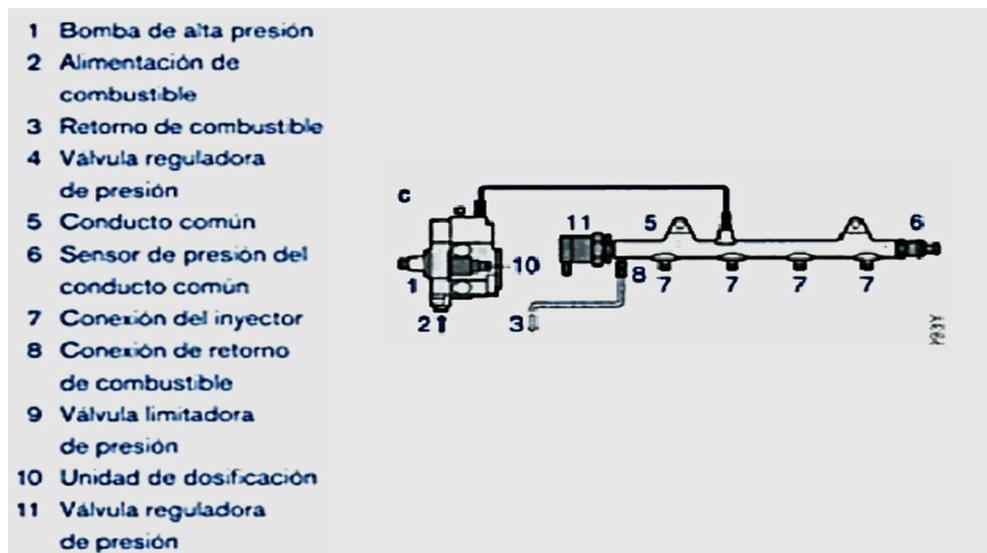


Figura No. 7. Sistema de doble regulación

Fuente: (Bosch, 2005)

C. Inyección

Los inyectores suministran el combustible a alta presión directamente en la cámara de combustión del motor, desde el conducto común a través de cortas tuberías, la unidad de control dirige la apertura y cierre del mismo por medio de la válvula de mando integral.

El volumen de combustible aportado por el inyector depende de la duración de apertura del mismo, como de la presión del sistema. Si la presión es constante el caudal de combustible es proporcional al tiempo de conexión de la válvula de mando, más no del número de revoluciones del motor o de la bomba.

2.1.3. Sensores del sistema CRDI

a. Sensor de presión de combustible de riel común.

Este sensor se puede denominar como:

- **ICP:** Sensor de control de la presión de inyección.
- **FRP:** Sensor de presión en el riel.

El autor (Augeri, 2011) indica que este sensor se encuentra en el riel común y permanece en contacto con el combustible, su fin es monitorear con velocidad y precisión la presión en el riel común en cada momento.

A continuación, se muestra algunas características del sensor de control de la presión de inyección ICP figura No. 8.

- Positivo de alimentación de 5 V.
- Señal a la ECU.
- Masa de sensor.



Figura No. 8. Sensor de presión del riel estructura

Fuente: (Blog de automóviles, 2011)

Este sensor entra en fase de emergencia si los valores están debajo de 0,3 V y superior a 4,76 V, la presión de combustible en el riel común constante de 400 bar proporcionada por la electroválvula de la bomba, bloqueando el funcionamiento de la EGR y el motor no sobrepasa de 3000 rpm.

- **Sensor de temperatura del refrigerante**

Es de tipo NTC y se encuentra en contacto con el líquido refrigerante, se alimenta de 5 V con el motor en funcionamiento, este voltaje se encuentra entre 0,85-1,5 V, y en frío varía entre 3,5-4,5 V.

- **Sensor de temperatura de combustible**

De tipo NTC, informa la temperatura del combustible que varía entre 18 y 20 °C en contacto con el carburante. Es alimentado con 5 V y una resistencia de 2600 Ω , ubicado en el riel o línea de retorno.

2.2. Bomba de alta presión Denso HP3

El manual de servicio (Denso Corporation, 2004) expone que esta bomba posee la capacidad de generar hasta 1800 bar, son utilizadas normalmente en banco de pruebas CRDI, además son de fácil manejo y desarmado en caso de reparación.



Figura No. 9. Bomba de alta presión
Fuente: (Denso Corporation, 2004)

2.2.1. Funcionamiento

La válvula de control de succión SCV controla el volumen de descarga, la apertura de la válvula es ajustada por el control de porcentaje de servicio.

En la admisión el émbolo buzo Figura No. 10 efectuado por el muelle, sigue el movimiento de la leva anular, de manera que el émbolo baja con la leva anular. El combustible es aspirado y atraviesa la válvula de control de succión SCV, el volumen de flujo es controlado hasta el volumen de descarga necesario por la apertura de la válvula y se introduce en la unidad principal de la bomba.

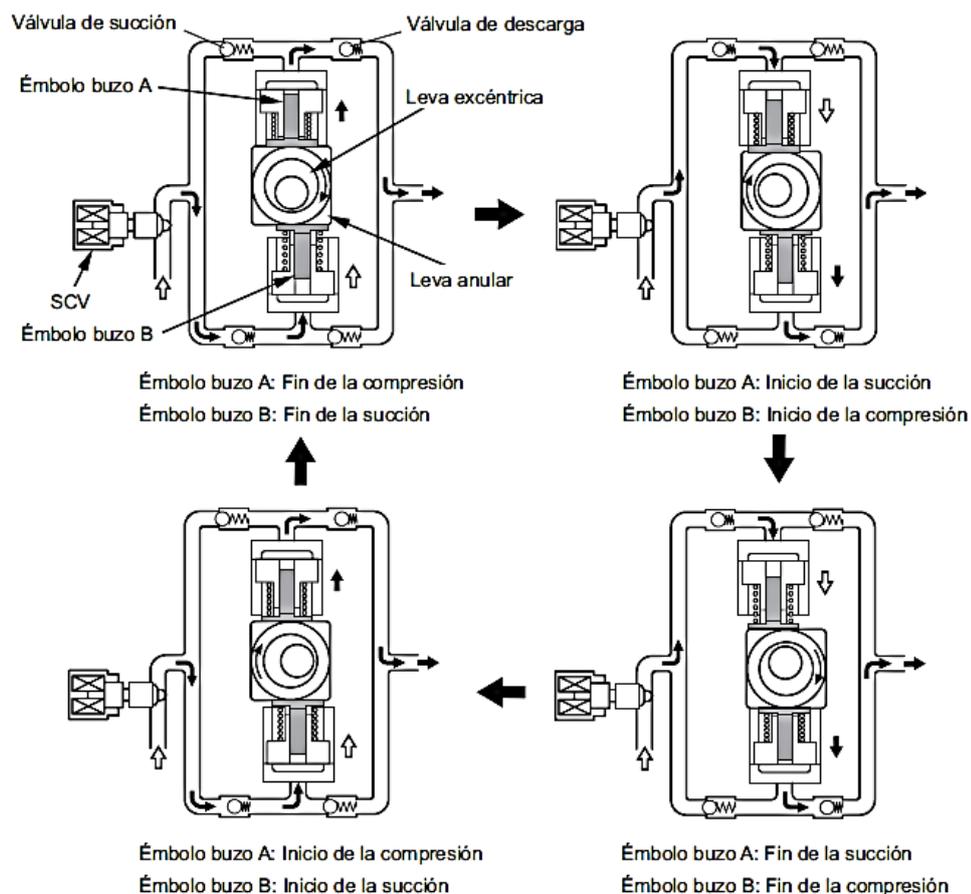


Figura No. 10. Movimiento del émbolo buzo

Fuente: (Denso Corporation, 2004)

2.2.2. Flujo de combustible global de la bomba de suministro

El volumen de descarga del combustible requerido es succionado y enviado por la bomba de alimentación hacia la válvula de control de succión SCV, donde se ajusta la presión del mismo y se introduce en la unidad de bomba por medio de la válvula de succión y esta bombea el combustible hacia la rampa a través de la válvula de descarga como se visualiza en la Figura No.11.

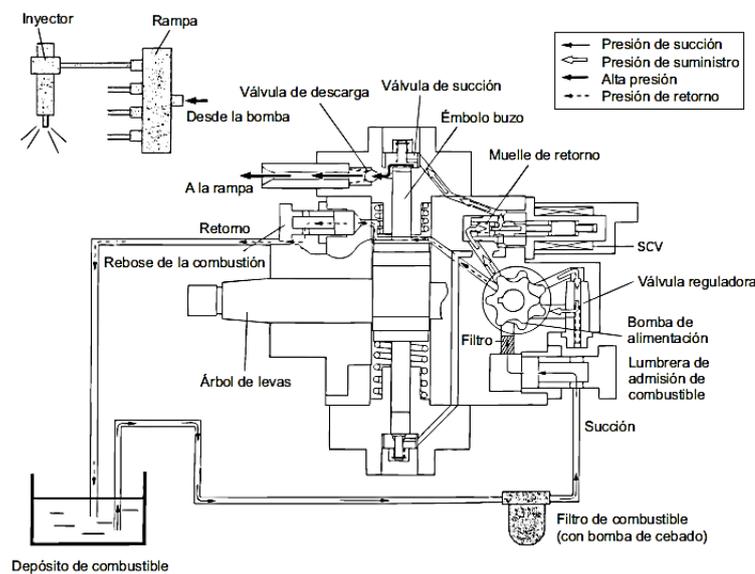


Figura No. 11. Partes de la bomba HP3

Fuente: (Denso Corporation, 2004)

2.2.3. Componentes y características

El manual de servicio (Denso Corporation, 2004) hace referencia a que los elementos que componen la bomba de suministro de alta presión son la unidad de bomba, sensor de temperatura de combustible y la bomba tipo trocoide de alimentación, activándose por rotación del motor.

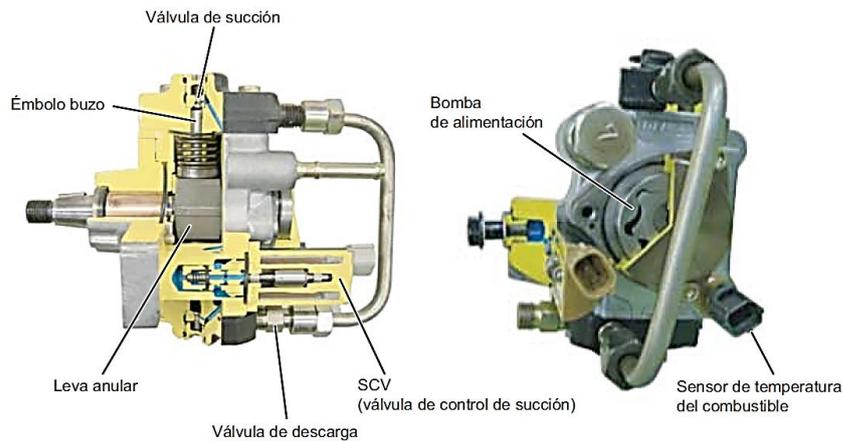


Figura No. 12. Bomba HP3

Fuente: (Denso Corporation, 2004)

En la Figura No 12. se contempla dos émbolos buzo que se hallan en la unidad de la bomba se posicionan simétricamente por debajo y por encima de la parte exterior de la leva anular.

La válvula de control de succión SCV ajusta el volumen de descarga del combustible, disminuyendo la carga de actuación, impidiendo el aumento de temperatura del combustible. Existen dos tipos de válvulas de succión SCV de HP3 que son:

- **Tipo normalmente abierto.** La abertura de la válvula de succión se da cuando no está excitada.
- **Tipo normalmente cerrado.** El cierre de la válvula de succión se da cuando no está excitada.

El sistema diésel de reducción de NO_x y partículas DPNR cuenta con un amortiguador de flujo, tiene el fin de cerrar automáticamente el paso de combustible diésel cuando hay una fuga en el paso de la válvula de adición de combustible diésel en el DPNR.

A. Funciones de los componentes

Tabla No. 1.

Funciones de cada componente de la bomba de alta presión HP3

PIEZAS COMPONENTES		FUNCIONES
Bomba de alimentación		Aspira el combustible desde el depósito y se lo suministra al émbolo buzo.
Válvula reguladora		Regula la presión del combustible en la bomba de suministro.
Unidad de bomba	Leva excéntrica	Activa la leva anular.
	Leva anular	Activa el émbolo buzo.
	Émbolo buzo	Se mueve en vaivén para aspirar y comprimir el combustible.
Válvula de succión		Evita el flujo inverso de combustible comprimido hacia la SCV.
Válvula de descarga		Evita el flujo inverso desde la rampa del combustible que se bombea desde el émbolo buzo.
Sensor de temperatura del combustible		Detecta la temperatura del combustible.

Fuente: (Denso Corporation, 2004)

A.1. Bomba de alimentación

La bomba de alimentación de combustible es de tipo trocoide Figura No. 13, succiona el carburante que se encuentra en el depósito y lo proporciona a los dos émbolos buzo mediante el filtro de combustible y la SCV. Los rotores interno y externo de la bomba de alimentación son activados por el eje impulsor, estos rotores giran aumentando y disminuyendo el espacio, es así que, la bomba de alimentación succiona el combustible dentro de la lumbrera de succión y bombea el carburante fuera de la lumbrera de descarga.

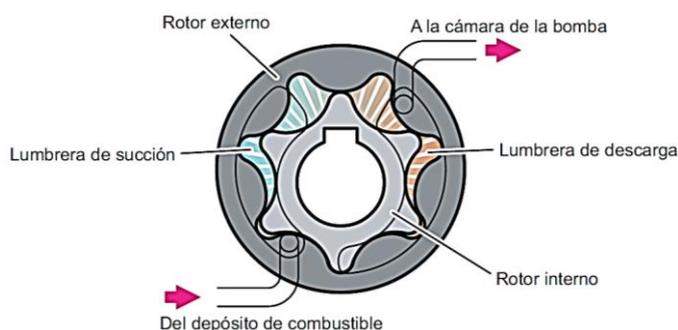


Figura No. 13. Válvula de alimentación

Fuentes: (Denso Corporation, 2004)

A.2. Válvula reguladora

La función de la válvula reguladora Figura No. 14 es mantener la presión de alimentación sin exceder cierto nivel. Si el régimen de la bomba aumenta y la presión de suministro sobrepasa la presión fijada, se produce la apertura de la válvula y se vence la fuerza del muelle para admitir el retorno del combustible diésel al lado de succión.

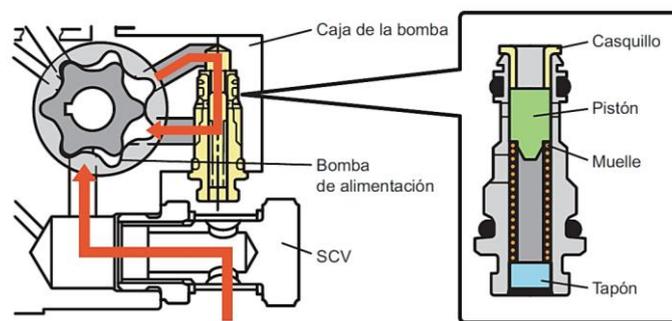


Figura No. 14. Válvula reguladora

Fuentes: (Denso Corporation, 2004)

A.3. Válvula de control de succión SCV

La válvula de control de succión SCV, Figura No. 15, consta de una válvula electromagnética de tipo solenoide lineal que controla el tiempo de la corriente aplicada desde la ECU a la SCV, denominado control de porcentaje de servicio, de esta manera también se ajusta el volumen de flujo de combustible al émbolo buzo a alta presión.

A medida que la corriente fluye en la SCV, el inducido en su interior se agita según el porcentaje de servicio, modificando el volumen de flujo de combustible, este volumen se ajusta en función del tamaño de la abertura del conducto de combustible del cilindro. De esta manera se controla el volumen de carburante de admisión para obtener la presión de rampa necesaria, disminuyendo así la carga de trabajo de la bomba de suministro.

- **Tipo normalmente abierto**

- Si la válvula solenoide no se encuentra excitada, el muelle de retorno impulsa el cilindro, dando una apertura completa al conducto de combustible y proporcionando combustible a los émbolos buzo, determinándose así la cantidad total de admisión y descarga de combustible.
- Si la válvula solenoide se encuentra excitada, el inducido comprime el cilindro y este aprieta el muelle de retorno, cerrando el conducto de combustible.
- El control de porcentaje de servicio activa las posiciones ON/OFF de la válvula solenoide. La cantidad suministrada de combustible corresponde al área de la superficie abierta del conducto que posteriormente se descarga por acción de los émbolos buzo.

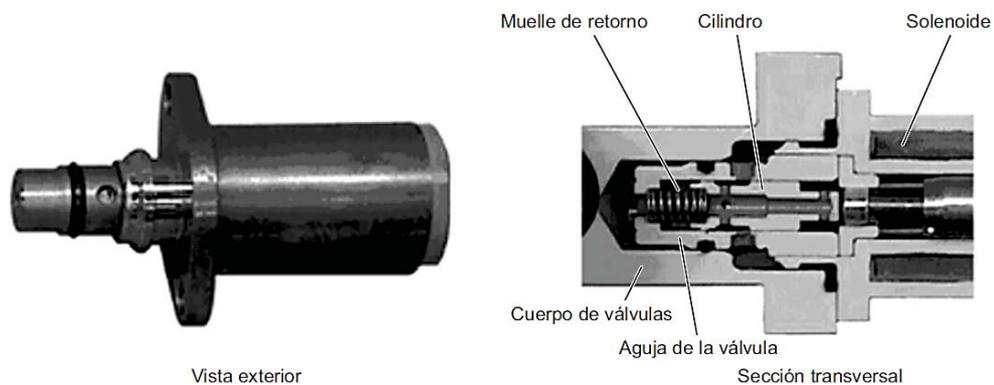


Figura No. 15. SCV totalmente abierto

Fuentes: (Denso Corporation, 2004)

- **Tipo normalmente cerrado**

- Si la válvula solenoide se encuentra excitada, el inducido aprieta el cilindro, dando una apertura completa al conducto de combustible y proporcionando combustible a los émbolos buzo, determinándose así la cantidad total de admisión y descarga de combustible Figura No. 16.

- Al finalizar la excitación de la válvula solenoide, el muelle de retorno comprime el cilindro haciéndolo retornar y posteriormente cerrando el conducto de combustible.
- El control de porcentaje de servicio activa las posiciones ON/OFF de la válvula solenoide. La cantidad suministrada de combustible corresponde al área de la superficie abierta del conducto que posteriormente se descarga por acción de los émbolos buzo.

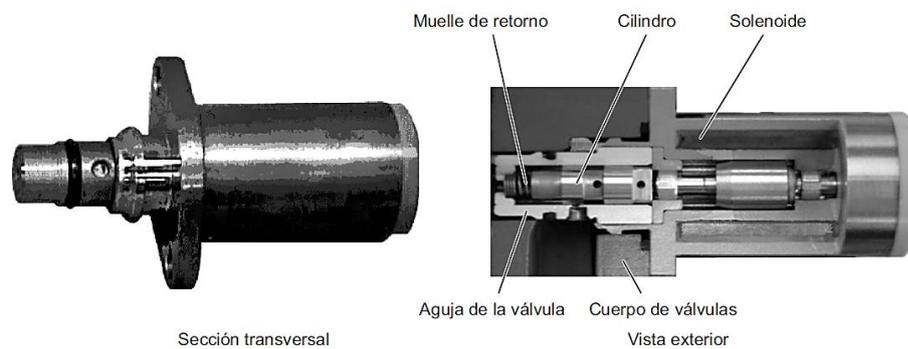


Figura No. 16. SCV totalmente cerrado

Fuentes: (Denso Corporation, 2004)

A.4. Unidad de bomba (leva excéntrica, leva anular, émbolo buzo)

- La leva excéntrica Figura No. 17, se encuentra adaptada al árbol de levas, mientras que la leva anular se ubica sobre la leva excéntrica. Existen dos émbolos buzo, simétrico el uno del otro por debajo y por encima de la leva anular.

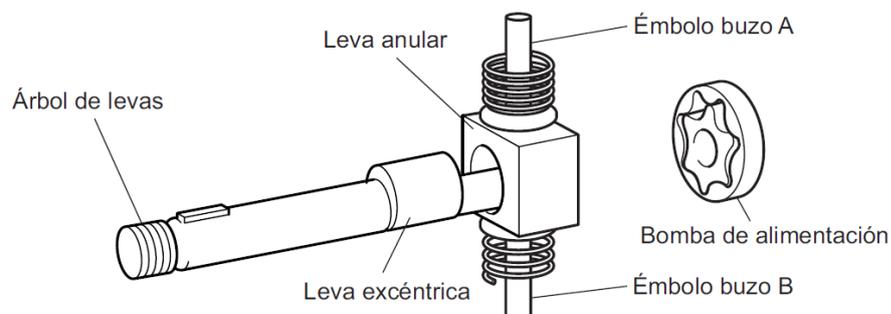


Figura No. 17. Partes de la unidad de la bomba

Fuentes: (Denso Corporation, 2004)

- Con el giro del árbol de levas, la leva excéntrica rota excéntricamente. Figura No. 18, este movimiento que es de arriba hacia abajo es perfilado por la leva anular, y a su vez acciona los dos émbolos buzo recíprocamente.

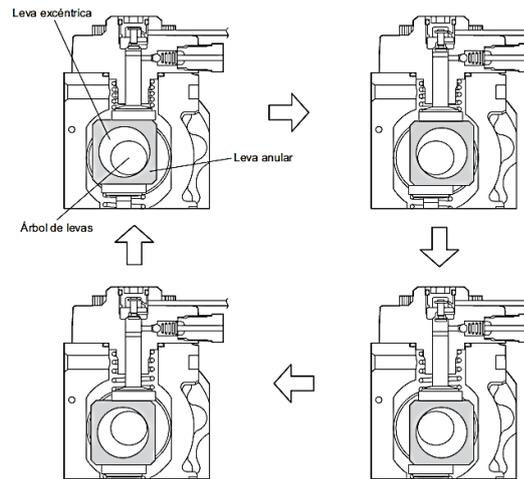


Figura No. 18. Rotación del árbol de levas

Fuentes: (Denso Corporation, 2004)

A.5. Válvula de descarga

El elemento integrado de la válvula de descarga Figura No. 19, posee bola de retención, muelle y montura. Si la presión del émbolo buzo sobrepasa la presión de la rampa, se produce la apertura de la bola de retención, descargando el combustible.

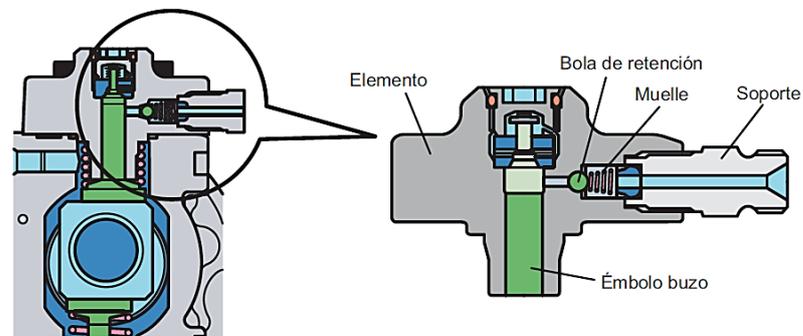


Figura No. 19. Válvula de descarga

Fuentes: (Denso Corporation, 2004)

A.6. Sensor de temperatura del combustible

Este sensor se encuentra ubicado en la admisión del combustible Figura No. 20, y posee las características de un termistor de manera que la resistencia eléctrica varía su temperatura para determinar la temperatura del combustible.

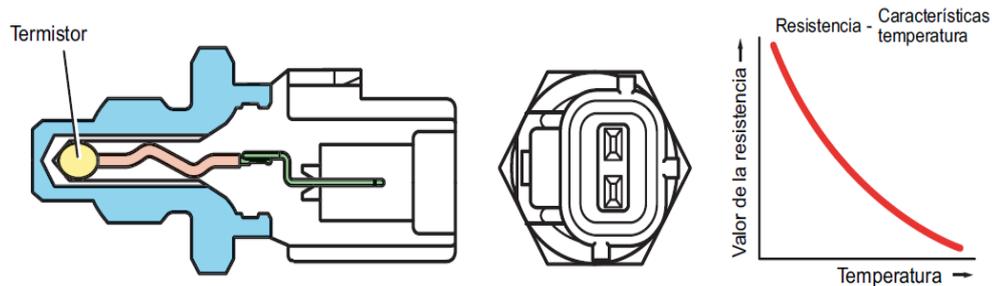


Figura No. 20. Sensor de temperatura de combustible

Fuentes: (Denso Corporation, 2004)

2.3. Inyector CRDI DENSO X2

El manual de servicio (Denso Corporation, 2004) hace referencia que el inyector denso alcanza una alta presión de inyección y puede proporcionar hasta cinco inyecciones múltiples precisas, a continuación se muestra varias generalidades del inyector:

- El inyector pulveriza el combustible a presión de la rampa en la cámara, donde se produce la combustión del motor en función del volumen, calado, relación y modelo de inyección, Figura No. 21.
- La válvula encargada de controlar la inyección se denomina TWV, ajusta la presión de la cámara para controlar el inicio y final de la inyección. Un orificio es el encargado de controlar la relación de inyección manteniendo el régimen en el cual se abre la tobera.
- El pistón de mando es el encargado de abrir y cerrar la válvula cuando transmite la presión de la cámara de control a la aguja de la tobera.
- Cuando se produce la apertura de la válvula de la aguja de la tobera, se produce la pulverización del combustible y lo inyecta.

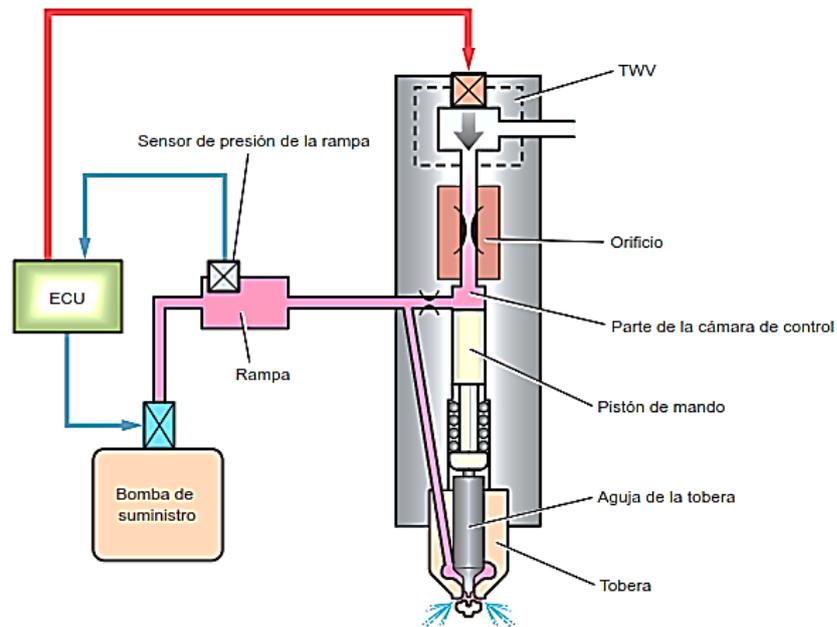


Figura No. 21. Inyector Denso X2
Fuente: (Denso Corporation, 2004)

2.3.1. Componentes y características

Los elementos esenciales que constituyen un inyector son:

- Tobera.
- Portatobera.
- Un orificio que controla la relación de inyección.
- El pistón de mando.
- TWV (válvula electromagnética de dos vías).
- Aguja.

Estos elementos se los puede apreciar de mejor manera en la figura No. 22.

Al disminuir la carga de accionamiento del inyector, se ha optimizado, es más compacto, eficaz y preciso en la inyección. La TWV es la encargada de abrir y cerrar el orificio de salida.

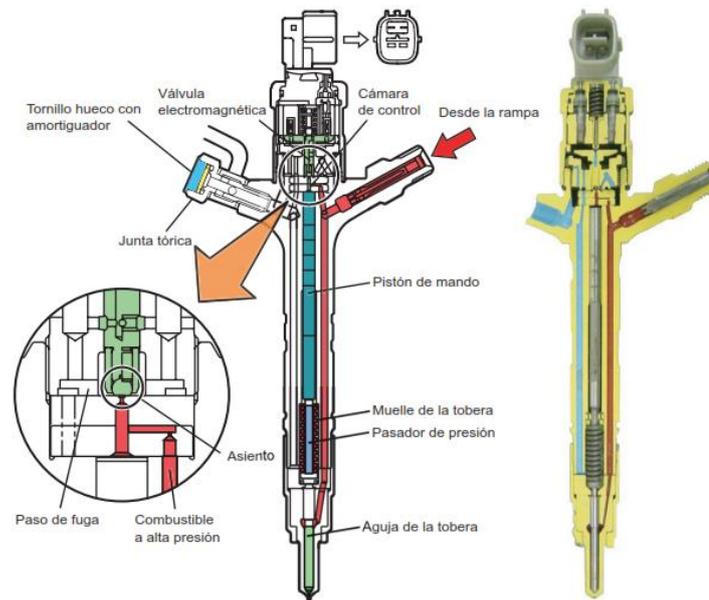


Figura No. 22. Componentes del inyector Denso X2

Fuente: (Denso Corporation, 2004)

2.3.2. Funcionamiento

El manual de servicio (Denso Corporation, 2004) manifiesta que el inyector es el encargado de controlar la inyección mediante la presión que ejerce el combustible en la cámara de control. La TWV cumple la función de controlar las fugas de combustible en la cámara de control para ajustar la presión del combustible dentro de la cámara.

A. Sin inyección

Si la TWV, Figura No. 23, no se encuentra excitada, bloquea el paso de fuga desde la cámara de control, de esta manera la presión de combustible que se aplica a la aguja de la tobera y la presión del combustible de la cámara de control son iguales a la presión de la rampa, la aguja se cierra debido a la diferencia del área de la superficie sometida a presión del pistón de mando y la fuerza del muelle de la tobera, el combustible no es inyectado. El orificio de salida de la cámara de control se cierra proporcionalmente por la fuerza del muelle.

B. Inyección

Cuando la TWV Figura No. 23, inicia su excitación, se eleva dando apertura al paso de fuga de la cámara de control. Cuando el paso de fuga tiene apertura, el combustible de la cámara de control emerge y la presión disminuye. Con esta caída de presión dentro de la cámara de control, la presión de la aguja es impulsada hacia arriba e inicia la inyección. Cuando existen fugas de combustible desde la cámara de control se restringe el volumen de flujo mediante el orificio, así la tobera se abre gradualmente incrementando la relación de inyección. Al prolongar la aplicación de corriente a la TWV se da un momento en que la aguja alcanza la elevación máxima efectuándose la máxima relación de inyección. El combustible excedente retorna al depósito.

C. Final de la inyección

Cuando la TWV Figura No. 23, termina su excitación esta descende, otorgando el cierre del paso de fuga de la cámara de control. Cuando el paso de fuga se cierra, la presión de combustible dentro de la cámara de control retoma inmediatamente a la presión de rampa, se cierra la tobera y la inyección termina.

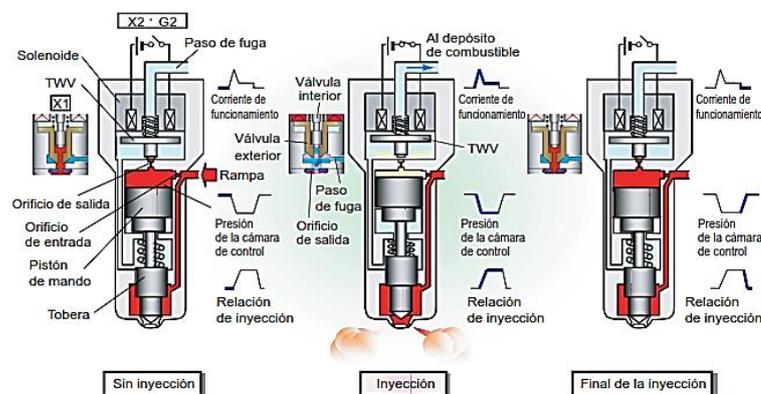


Figura No. 23. Funcionamiento del inyector denso X2

Fuente: (Denso Corporation, 2004)

2.3.3. Circuito de funcionamiento del inyector

Para optimizar el funcionamiento del inyector se ha sustituido la tensión de funcionamiento a alta tensión, acelerando la magnetización del solenoide y la respuesta de la TWV, Figura No. 24. La EDU del circuito de carga de la ECU incrementa la tensión de la batería aproximadamente 110V, dando al inyector la señal de la ECU para accionarlo, Figura No. 25.

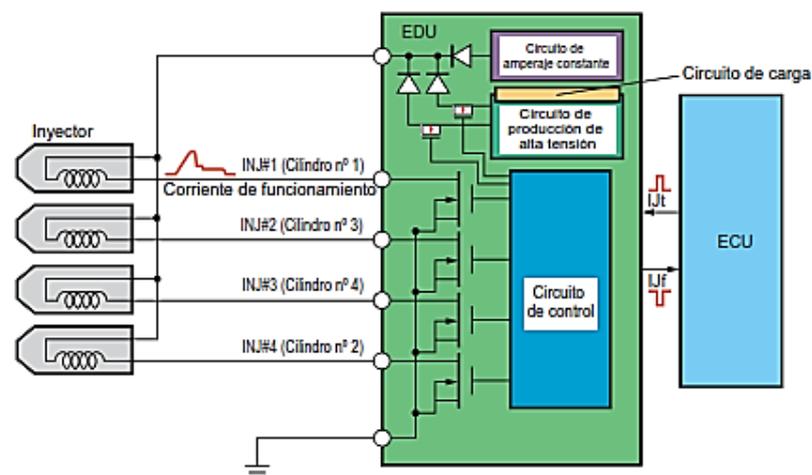


Figura No. 24. Funcionamiento de la EDU

Fuente: (Denso Corporation, 2004)

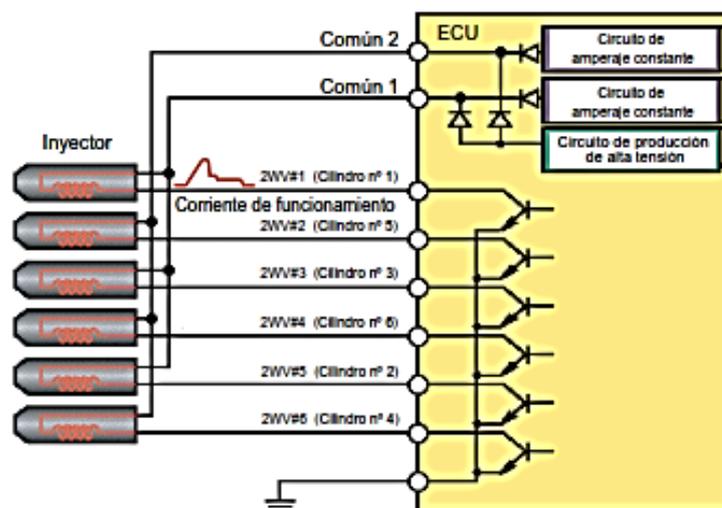


Figura No. 25. Activación directa de la ECU

Fuente: (Denso Corporation, 2004)

2.4. Banco comprobador de inyectores CRDI

2.4.1. Características de operación

El banco de pruebas utilizado para realizar las pruebas de durabilidad, es un equipamiento del sistema de inyección diésel, Figura No. 26, específicamente en el sistema common rail para inyectores: Bosch, Denso, Delphi.

Las pruebas se pueden realizar en inyectores inductivos o piezoeléctricos, verificando sus condiciones eléctricas y mecánicas.

A. Identificación y partes del banco de pruebas



1. Panel de control, 2. Bomba e alta presión, 3. Inyectores denso, 4. Módulo electrónico, 5. Modulo impulsor de inyectores, 6. Filtro, 7. Depósito de inyección, 8. Tanque de combustible, 9. Fuente eléctrica

Figura No. 26. Componentes del banco de pruebas

B. Descripción de los componentes del banco de pruebas CRDI

Tabla No. 2.

Descripción de los componentes del banco de pruebas

Elemento	Función	Figura
Panel de control.	Se encuentran los pulsadores de encendido, apagado, bloqueo en caso de sobrepresión en el acumulador y un potenciómetro que regula las rpm del motor eléctrico.	
Bomba de alta presión	Ubicada en la parte intermedia, enviar la presión de mezcla combustible necesaria hacia los inyectores.	
Inyectores	Encargados de inyectar la mezcla combustible por medio de la apertura y cierre de la tobera.	
Módulo electrónico	Permite verificar el sentido de giro y las rpm en el variador de frecuencia.	
Módulo impulsor de inyectores	Programa los valores de apertura y cierre de inyección, orden de encendido, tiempo de trabajo.	
Filtro	Eliminar burbujas el aire y retiene impurezas del combustible.	

CONTINÚA →

Elemento	Función	Figura
Depósito de inyección	Permite la inyección sumergida de la inyección	
Tanque de combustible	Almacena el combustible	
Fuente eléctrica	Energiza al banco de pruebas 220/110 v.	

2.4.2. Sistemas del banco de pruebas

A. Sistema de baja presión

Este sistema se encarga de succionar el combustible desde el depósito mediante una bomba de suministro. El combustible avanza por cañerías de baja presión hacia un prefiltro que aparta las impurezas, finalizando en el sistema de alta presión.

Los elementos constituyentes del sistema de baja presión, Figura No. 27, son:

- Depósito de combustible
- Bomba de suministro previo
- Filtro de combustible
- Tuberías de conexión.



Figura No. 27. Sistema de baja presión

Fuente: (Cuyato, s.f.)

B. Sistema de alta presión

Los elementos constituyentes de sistema de alta presión Figura No. 28, son:

- Bomba de alta presión.
- Acumulador de alta presión con sensor de alta presión.
- Inyectores.
- Tuberías de alta presión.

La bomba de suministro de alta presión proporciona el combustible necesario a alta presión hacia el riel común, donde es ajustada la presión necesaria a los inyectores para finalmente producir la inyección.

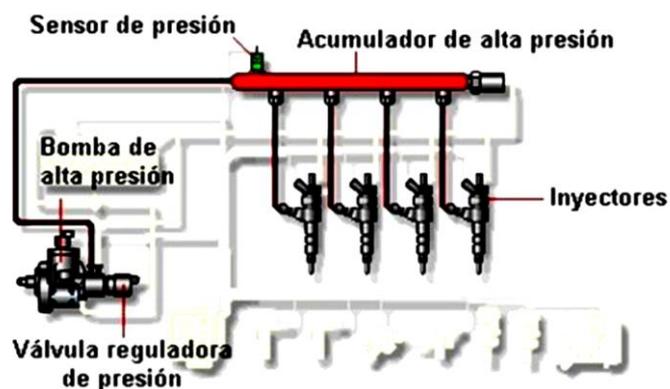


Figura No. 28. Circuito de alta presión

Fuente: (Cuyato, s.f.)

2.5. Biodiesel

Los autores (Acosta, Castro , & Cortijo , 2008) puntualizan el biodiesel es un combustible alternativo ecológico compuesto por ésteres monoalquílicos de ácidos grasos de cadena larga procedentes de lípidos renovables como son los aceites vegetales, utilizados como fuente energética en motores de ignición de compresión. El biodiesel es utilizado también como aditivo del diésel convencional.

2.5.1. Biocombustibles de segunda generación

Los biocombustibles en la actualidad están en duda acerca de su viabilidad, sostenibilidad a largo plazo e impacto medio ambiental. Se han desarrollado investigaciones enfocándose en los biocombustibles de segunda generación que compense estos inconvenientes. Existen alternativas en cuanto a materias primas y tecnológicas que permiten que estos biocombustibles estén en los depósitos de nuestros automóviles.

La principal ventaja que muestran los biocombustibles de segunda generación denominados 2G, se obtienen mejores procesos tecnológicos a partir de materias primas que no se destinan a la alimentación, como lo hacen los biocombustibles de primera generación, ya que se cultivan en terrenos no agrícola contrarrestando la deforestación.

A continuación, se muestran algunas características de los biocombustibles 2G:

- Es una mezcla combustible de origen vegetal
- El proceso en general se efectúa en dos fases, Figura No. 29.:
 - a. Gasificación de biomasa y obtención de gas de síntesis.
 - b. Reacción de Fischer – Tropsch (FT) y obtención de un hidrocarburo.
- Existen varias tecnologías a escala de laboratorio y/o piloto.

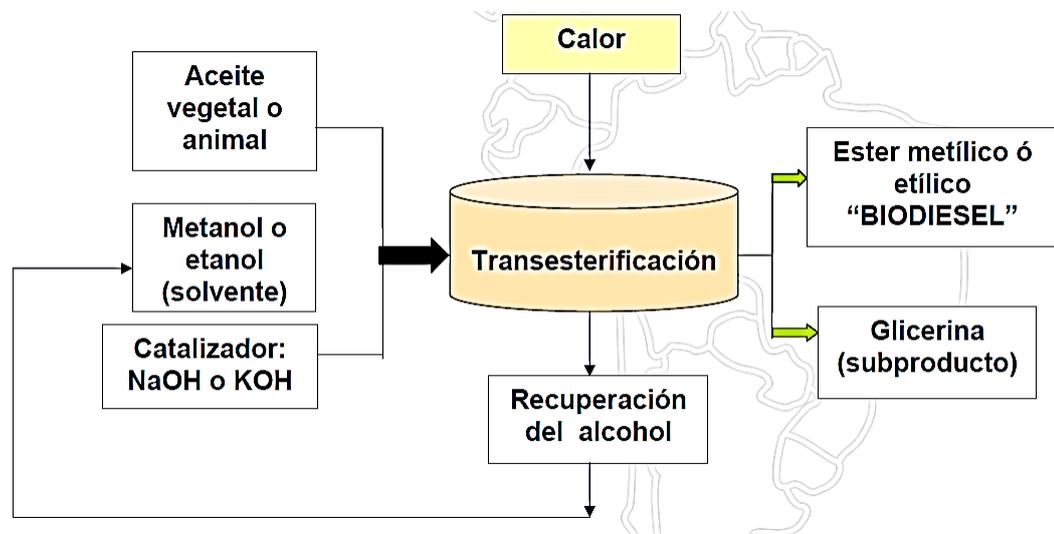


Figura No. 29. Biocombustibles de segunda generación

Fuente: (Ganduglia, IICA, & ARPEL, 2009)

Los autores (Cárdenas, 2014) aportan que el biodiésel puede ser usado puro B100, o con mezclas combustibles con diésel convencional en diferentes concentraciones, una mezcla combustible que se usa en el mundo del biodiésel es la B20 que representa 20 partes del biodiésel por cada 80 de diésel convencional, existen también mezclas combustible B5,B10,B15,B20.

2.5.2. Clasificación y composición

Los autores (Acosta, Castro , & Cortijo , 2008) aluden varias clasificaciones de los aceites y las grasas de acuerdo con su origen: vegetal o animal, que se presentan en la siguiente tabla No.3:

Tabla No. 3.

Clasificación de aceites para uso como biocombustible

Tipo	Origen	Características	Foto
Aceite vegetales convencionales	Aceite De Colza	Alto contenido de ácidos grasos monoinsaturados (especialmente el ácido erúxico) y correspondientes bajos niveles de ácidos grasos saturados y poliinsaturados. Puede tener, después de la extracción, entre 1 y 7% por peso de glucosinolatos (10 a 57 ppm de azufre)	
	Aceite De Canola	Posee un bajo contenido de ácido crúxico menor al 2%, contiene menos de 30µmol/g de glucosinolatos.	
	Aceite De Girasol	Alto contenido de ácido linoleico, triglicérido lanoleína y con distribución de ácidos grasos saturados, monoinsaturados y poliinsaturados.	
	Aceite De Soya	Similar al aceite de girasol, con altos contenidos de ácido linoleico y de trilinoleína. Este aceite puede ser más competitivo por poseer menor contenido de ácidos grasos poliinsaturados.	
	Aceite de Palma	Posee mayor contenido global de ácidos grasos saturados, alrededor del 50%, y de ácidos grasos saturados de cadena intermedia, como el láurico y el mirístico. Su naturaleza altamente saturada, junto con su alto contenido de estabilizantes naturales, le confiere al aceite de palma estabilidad química superior a la de los demás aceites convencionales.	

CONTINÚA →

Tipo	Origen	Características	Foto
Aceites alternativos	Aceite de piñón o tempate	Contiene ácidos grasos libres con valores cercanos de cero hasta próximos al 14% por peso. Presenta un balance intermedio entre ácidos grasos saturados e insaturados el cual es mayor que el de los aceites de colza, soya, girasol y menor que el del aceite de palma.	
	Aceite De Higuerilla	Único aceite comercial que contiene hidroxiácidos grasos. Por su alto contenido de ácido ricinoleico, el cual se encuentra fundamentalmente haciendo parte del triglicérido simple triiricinoleína, el aceite de higuerilla es más viscoso.	
	Aceite de microalgas	Ricos en ácidos grasos poliinsaturados con cuatro o más enlaces dobles. El rendimiento de aceite por hectárea obtenido con microalgas puede ser 200 veces mayor al obtenido con aceites convencionales como la soya y la colza.	
	Aceite usado de frituras	Las condiciones en que se desarrolle la obtención puede promover reacciones como: hidrólisis, oxidación y polimerización (formación de dímeros o polímeros a partir de radicales libres provenientes de los enlaces dobles de los ácidos grasos).	
	Aceites y grasas de origen animal	En comparación con los aceites vegetales, los aceites y las grasas animales tienen costos más bajos, pero su disponibilidad en el mercado es más limitada, por tratarse de subproductos de la industria cárnica.	

Fuente: (Acosta, Castro , & Cortijo , 2008)

2.5.3. Transesterificación del biodiesel

En la actualidad existen diferentes métodos para la obtención del biodiesel, el más utilizado y que presenta mejores resultados es la transesterificación.

El aceite vegetal sin ser procesado, se utiliza en motores diésel, hay que tomar en cuenta el daño que provocaría en cada componente, necesario ajustar la base de los triglicéridos, hidrocarburos saturados por que los aceites tienen una mayor viscosidad, mayor al diésel convencional. La transesterificación reduce la viscosidad para el uso como carburante en el motor.

La reacción se produce en un bioreactor mediante la mezcla de un aceite, alcohol y un catalizador para producir biodiesel y glicerina. Esta reacción se ve reflejada por diversos factores que trascienden en calidad y rendimiento de biodiesel.

A continuación, se muestra los factores que disminuyen el proceso de transesterificación.

- Calidad del aceite reciclado de frituras.
- Calidad de reactivos.
- Humedad.
- Tipo de concentración del catalizador.
- Tiempo empleado.
- Temperatura y agitación en la reacción.

Es necesario identificar las condiciones de operación en el proceso de transesterificación que influyen en la eficiencia y las características fisicoquímicas del biocombustible.

A. Calidad del aceite reciclado de frituras

La cantidad de agua y de ácidos grasos libres denominado AGL son factores de gran importancia en el proceso de transesterificación. La presencia de humedad otorga un menor rendimiento de producción. El valor de AGL debe ser menor de 3 % p/p, es decir, menor de 3% de la masa de soluto/masa de una solución de la mezcla, si la acidez es muy alta presenta una menor conversión de ésteres,

B. Concentración y tipo de catalizador

La concentración de los aceites, alcoholes y catalizador depende del biodiesel a obtener, a continuación, se presentan alcoholes que se utilizan para la transesterificación.

- Metanol.
- Etanol.
- Propanol.
- n-Butanol.
- n-Pentanol.

La siguiente Tabla No.4, hace referencia a los tipos de catalizadores que se utilizan en el proceso de transesterificación.

Tabla No. 4.

Tipos de catalizadores para la transesterificación

Catalizadores Químicos				Catalizadores Biológicos
Básicos		Ácidos		Lipasas
Homogéneos	Heterogéneos	Homogéneos	Heterogéneos	Heterogéneos
Hidróxidos de metales alcalinos	Carbonatos y óxidos de metales alcalinos o alcalinotérreos	Ácidos Bronsted y de Lewis	Fosfatos metálicos	Intracelulares extracelulares

CONTINÚA →

Catalizadores Químicos				Catalizadores Biológicos
Básicos		Ácidos		Lipasas
Homogéneos	Heterogéneos	Homogéneos	Heterogéneos	Heterogéneos
	Óxidos de metales alcalinos o alcalinotérreos y metales de transición		Sólidos superácidos, óxidos de Zr, Sn y W	
Alcóxidos de metales alcalinos, R—OM	Hidróxidos de metales alcalinotérreos	Ácidos sulfónicos	Aluminosilicatos amorfos	
	Metales alcalinos, hidróxidos o sales soportadas en alúmina		Membranas poloméricas con grupos sulfónicos	
Bases orgánicas fuertes (alquilguanidinas)	Resinas de intercambio iónico	Sales carboxílicas de cationes bivalentes	Resinas de intercambio iónico	

Fuente: (Benjumea Hernández, Agudelo Santamaría, & Rios, 2009)

2.6. Funcionamiento mecánico en el inyector

Los autores (Arellano Cabrera & Falconi Toro , 2015) añaden que si se requiere comprobar el perfecto funcionamiento del inyector, hay que desmontarlo del motor y usar un comprobador para esta función. La comprobación del funcionamiento se basa en determinar si el inicio de la inyección ocurre a la presión estipulada y la pulverización lograda es correcta. El inyector se coloca en el comprobador con un acoplamiento apropiado, Se ajusta el inyector a una tubería de alta presión por la que avanza el combustible desde una bomba manual, a una presión determinada y visualizada en el manómetro.

Las pruebas de funcionamiento mecánico del inyector son las siguientes:

- Control de estanqueidad.
- Control de pulverización y dirección de chorro.
- Control de presión y tarado.
- Control de goteo.

- Control de fuga de retorno.

2.6.1. Control de estanqueidad

La prueba verifica hasta qué punto el inyector cierra sin presentar valores de fuga, operando con valores de presión levemente por debajo de la presión de funcionamiento.

Si el valor de presión varía de 15 a 20 bar menor que la presión de funcionamiento, la válvula de desconexión del manómetro se cierra, manteniendo así la presión en el circuito hidráulico interior del inyector. Obedeciendo estas condiciones, la aguja debe cerrar perfectamente sobre su asiento, el inyector no debe gotear ni encontrarse húmedo en la punta, esto indica una perfecta estanqueidad.

Al contrario, es decir si el inyector presenta humedad en la punta se procede a un leve rectificado del asiento de la aguja, proceso parecido al esmerilado de válvulas.

2.6.2. Control de pulverización y dirección de chorro

El inyector es montado sobre el comprobador de modo que vierte el chorro sobre la cámara, se acciona la bomba hasta alcanzar la inyección de combustible en un chorro continuo, Figura No. 39. Se observa el combustible vertido y disperso y debe formar un cono incidiendo en la bandeja. Si se encuentran irregularidades de forma o disposición del chorro se desmonta el inyector y se realiza una limpieza con las herramientas necesarias para este trabajo.



Figura No. 30. Forma de chorro de los inyectores

Fuente: (Arellano Cabrera & Falconi Toro , 2015)

Para la correcta pulverización del combustible, es preciso que la aguja del inyector oscile hacia adelante y hacia atrás con una frecuencia elevada en la fase de inyección. Debido a la vibración se emite un leve ruido, que se escucha cuando se acciona la bomba con una frecuencia de uno o dos bombeos. Este zumbido se elimina cuando la frecuencia es más rápida, reemplazada por un silbido a partir de cuatro o seis bombeos por segundo. Cuando el silbido aparece, denota que la pulverización está incorrectamente repartida. Si la frecuencia de bombeo es rápida, el chorro es neto, pulidamente pulverizado formando un perfecto cono centrado en el eje simétrico del inyector.

2.6.3. Control de presión y tarado

Al poner en funcionamiento la bomba mediante su palanca de mando y con un ritmo de sesenta emboladas por minuto, el manómetro registra la presión de tarado del inyector.

Cuando esta presión sobrepasa lo establecido, significa que la aguja del inyector está pegada, bien sea por una obstrucción parcial de la tobera o por una precarga incorrecta del muelle de presión. Si sucede lo contrario se debe a que su funcionamiento excede los 50000 km por falta de tensión o rotura del muelle de presión.

Para corregir estos casos se realiza el desmontaje, limpieza y tarado del inyector con la presión correcta. Para el tarado es necesario apretar y aflojar el tornillo de reglaje o sustituyendo las arandelas entre el muelle y la carcasa.

2.6.4. Control de goteo

Se acciona lentamente la palanca de mando de modo que la presión permanezca por debajo de la presión de tarado, pero próxima a la vez. Se verifica que no exista goteo en el inyector, caso contrario es muestra de un defecto de estanqueidad, si es el caso hay que desmontar y limpiar el inyector, puntualizando en la superficie cónica del de la aguja. Si se mantiene el defecto es necesario reemplazar la tobera.

2.6.5. Control de fuga de retorno

Al poner en funcionamiento la bomba del comprobador mediante la palanca de mando, se tiene la presión en el inyector aproximada de 10 bar inferior a la presión del tarado, la válvula de paso del combustible se cierra. Cuando esto suceda la aguja del reloj comparador desciende indicando el nivel de fuga de retorno. En cuanto al nivel de fuga de retorno en un inyector es correcto, cuando mantiene su presión superior a 50 bar por más de seis segundos iniciando con una presión de 100 bar.

El combustible que sale de la varilla de la válvula de aguja y el cuerpo de la tobera hacia el retorno es registrado por la fuga de retorno, que además cumple con la función de lubricar estos elementos.

Cuando la fuga de retorno es inferior existe una escasa holgura entre la aguja y la tobera, caso contrario la holgura será mayor y la tobera debe cambiarse o repararse.

CAPÍTULO III

3. ENSAYOS DE DURABILIDAD

3.1. Biodiesel

3.1.1. Biodiesel en el Ecuador

El biodiesel no se ha potencializado como fuente energética alternativa en el país, existen diversos factores que impiden que estaciones de servicio abastezcan de este fluido a motores diésel, ya sea para el transporte terrestre, aéreo y marítimo. Las emisiones de CO₂ y gases contaminantes producidos por la combustión, están cada vez en alza y poco se ha hecho para librar este problema.

En el año 2012 el estado ecuatoriano, motivado por ordenanzas en la Unión Europea y los Estados Unidos, dispuso mediante el decreto 1303 los artículos siguientes:

Decreto 1303

Artículo 1. Declárese se interés nacional el desarrollo de biocombustibles en el país como medio para el impulso de fomento agrícola. La producción, el uso y el consumo de los biocombustibles responderán a una estrategia inclusiva de desarrollo rural, precautelando soberanía alimentaria y sostenibilidad ambiental.

Artículo 2. El combustible diésel Premium que se utilice en el país deberá contener biodiesel de origen vegetal de producción nacional, para uso en motores diésel.

Artículo 3. Contados ocho (8) meses a partir de la suscripción del presente Decreto Ejecutivo, la distribución y comercialización de la mezcla de diésel base con biodiesel de origen vegetal de producción nacional, se aplicará en todo el territorio nacional en

una proporción del 5% de biodiesel (B5), de acuerdo con los requisitos técnicos que determine la Agencia de Regulación y Control Hidrocarburífero.

Artículo 4. La producción, distribución y comercialización de biodiesel estará sometida a libre competencia, y como tal, podrán participar en estas actividades las personas naturales o jurídicas de carácter público o privado, en igualdad de condiciones, según lo establece la ley orgánica del Sistema Nacional de Contratación Pública.

Artículo 5. La transportación de biodiesel desde los centros de producción hasta las terminales de la EP PETROECUADOR, será de responsabilidad de los productores, distribuidores y comercializadores de biodiesel; y, la recepción, almacenamiento, mezcla del biodiesel con diésel base y la comercialización de dicha mezcla, será responsabilidad de EP PETROECUADOR de acuerdo con la normativa que establezca la Agencia de Regulación y Control Hidrocarburífero. (Presidencia de la Republica del Ec. Rafael Correa Delgado, 2012)

Esta normativa no se ha cumplido en su totalidad, pese a que hay empresas del sector privado que producen biodiesel, en la actualidad no existe una gasolinera que abastezca biodiesel.

El investigador (Castro, 2012) considera que los biocombustibles llamados de primera generación que derivan de la síntesis de materia prima alimentaria como soya y aceite de palma fueron los primeros en proponerse con el fin de una mayor seguridad energética, el ahorro de divisas debido a una reducción de las importaciones de petróleo y principalmente reducir las implicaciones negativas que conlleva el cambio climático.

En Ecuador uno de los productos implicado por la creciente demanda mundial de biodiesel es el fruto de palma, este incrementó considerablemente en precio y expandió la superficie de sembríos principalmente en la región costa.

A continuación, se indica los principales indicadores del sector palmicultor ecuatoriano en el año 2015 en la Figura No.31 y Figura No.32.

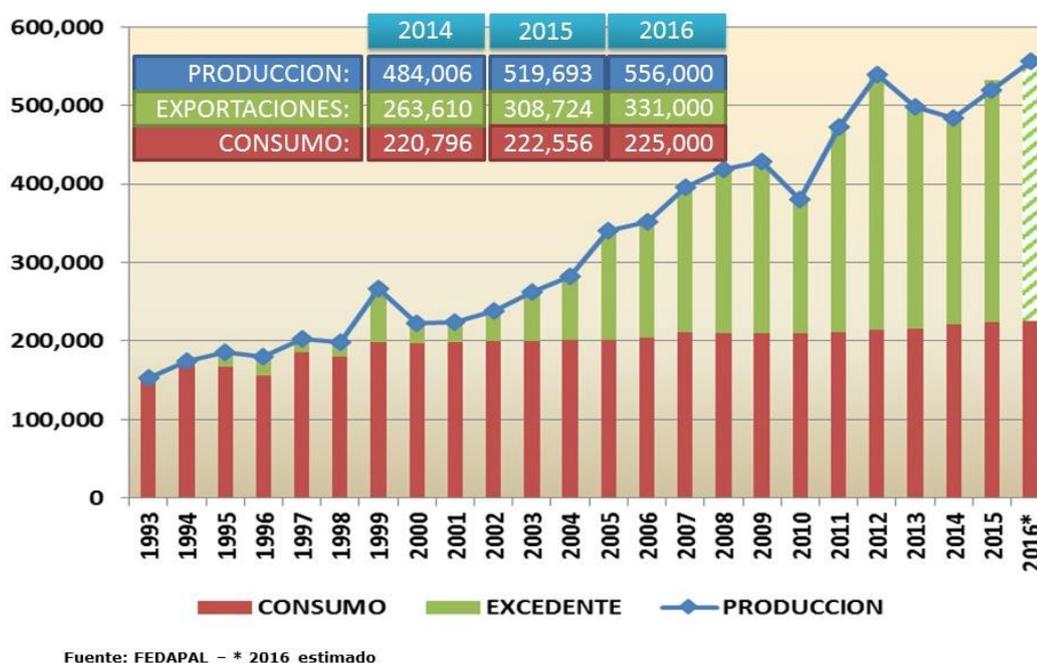


Figura No. 31. Producción, consumo y excedentes de aceite de palma
Fuente: (FEDAPAL, 2016)

EXPORTADOR	TM
VENEZUELA	109,457.12
COLOMBIA	76,224.33
MEXICO	21,672.38
PAISES BAJOS	4,356.60
REP. DOMINICANA	2,030.00
EE.UU	49.30
TOTAL	213,789.73

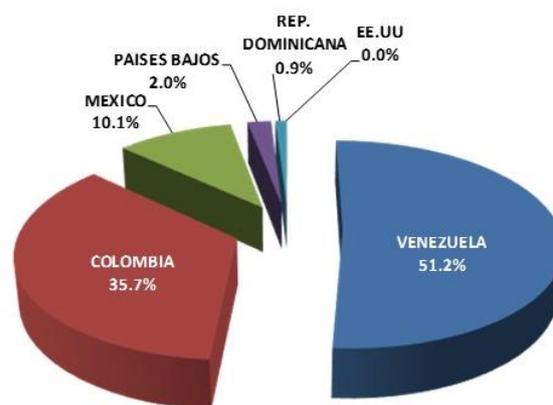


Figura No. 32. Exportaciones de aceite crudo de palma por país
Fuente: (FEDAPAL, 2016)

Los biocombustibles de segunda generación son menos contaminantes que los de primera generación, estos se caracterizan por obtener biomasa de productos reciclados tales como: aceite de frituras, basura orgánica o a su vez de plantas que

no pertenecen a los productos primarios alimenticios como las algas.

El principal inconveniente para que este tipo de fuente energética se industrialice en el país, es el costo de producción, al ser superior al costo del diésel, en un futuro prometedor se innove nuevas técnicas de obtención que no requieran el gasto energético de los métodos de la actualidad.

3.1.2. Obtención del biodiesel

El método que se utilizó para lograr la obtención de biodiesel es la transesterificación, este método es el más usado actualmente, a continuación, en la Tabla No. 5 se muestra los instrumentos y los insumos necesarios para este proceso.

Tabla No. 5.

Instrumentos de laboratorio para la obtención de biodiesel

Elemento	Cantidad	Descripción	Figura
Balón de tres bocas	2	Permite realizar la mezcla entre el catalizador y el aceite reciclado de frituras	
Decantador	1	Ayuda a realizar la separación del biodiesel con la glicerina.	
Tubo con serpentín	2	En su interior lleva un tubo hecho serpentín por donde pasa el agua para mantener la temperatura necesaria	

CONTINÚA →

Elemento	Cantidad	Descripción	Figura
Vasos de precipitación	4	Realizan la mezcla del catalizador con una agitación constante.	
Kitasato	1	Permite extraer el biodiesel por medio de filtrado al ser absorbido por el compresor.	
Plancha	4	La plancha tiene varias funciones: <ul style="list-style-type: none"> • Fuente de calor • Agitador electromagnético 	
Pinza de doble nuez	4	Ayuda a sostener el bolón de tres bocas.	
Mangueras	4	Permite el paso de agua refrigerante por todo el sistema.	
Corchos	4	Mantiene hermético la salida de los gases en la mezcla del aceite reciclado de frituras y el catalizador	
Agitadores magnéticos	4	Realiza la agitación para la mezcla.	
Termómetro	1	Ayuda a comprobar la temperatura deseada	
Compresor	1	Extrae el biodiesel	

CONTINÚA →

Elemento	Cantidad	Descripción	Figura
Papel filtro	12	Limpia absorbe impurezas del biodiesel	
Guantes	2	Proteger de altas temperaturas	
Mufla	1	Seca los instrumentos del laboratorio	

Tabla No. 6.

Insumos para la obtención de biodiesel por el método de transesterificación

SUSTANCIA	CANTIDAD	PESO MOLECULAR
Aceite reciclado de frituras	500 ml	458,9g
Metanol	200 ml	207,943g
Oxido de calcio	-	4,589 g

Fuente: (Loor Salazar, 2014)

A. Etapa de mezclado

- Filtrar 500 ml de aceite reciclado de frituras.
- Calentar 500 ml de aceite hasta los 100 °C.
- Mezclar 200 ml de etanol con 4,58 gr de óxido calcio manteniendo una agitación constante por 20 minutos para obtener el catalizador.

B. Etapa de reacción

- El catalizador se mezcla con el aceite reciclado de frituras a una temperatura de 60 °C, en un matraz balón de tres bocas durante tres horas con agitación constante.
- Mantener la temperatura dejando correr agua por el condensador con serpentín.



Figura No. 33. Proceso de reacción del biodiesel

- Luego de las 3 horas de trabajo trasladar el biodiesel a un separador para reposar 24 horas, verificar la separación del biodiesel y la glicerina.



Figura No. 34. Proceso de separación del biodiesel

C. Etapa de lavado

- Separar el biodiesel de la glicerina.
- Filtrar el biodiesel.
- Mezclar 50% de agua y 50 % de biodiesel y agitar de forma constante.
- Reposar 24 horas y verificar la separación del agua y el biodiesel.



Figura No. 35. Proceso de lavado del biodiesel

D. Etapa de filtrado

- Después del lavado separar el biodiesel del agua.
- Filtrar el biodiesel con papel filtro.
- Verificar el pH del biodiesel, a una escala de 7.



Figura No. 36. Biodiesel de aceite reciclado de frituras

- Biodiesel a partir de aceite de frituras B100.



Figura No. 37. Biodiesel B100

3.1.3. Caracterización del biodiesel.

El análisis de caracterización se realizó mediante pruebas físico – químicas en laboratorios certificados, tales como densidad, punto de inflamación, poder calorífico; posteriormente se realizó una comparación entre el biodiesel y el diésel para garantizar la calidad de la mezcla combustible.

Tabla No. 7.

Resultados de la caracterización de las mezclas combustibles a partir de aceite.

Determinación	Unidad	Método	Resultados						Variación
			F diésel puro	A	B	C	D	E	
Densidad API a 60°F	° API	PNE/DPEC/ASTM D-287	35.4	34.4	34.4	33.5	33.6	33.3	-5.93
Punto de inflamación	° C	PNE/DPEC/ASTM D-93	62.2	65.2	67.2	69.2	67.2	72.3	16.24
Viscosidad cinemática a 37,8 ° C	cSt	PNE/DPEC/ASTM D-445	4.04	4.37	4.58	4.77	4.98	5.32	31.68
Índice de cetano, calculado	-	PNE/DPEC/ASTM D-287	52	50.86	51	50.26	51.17	50.99	-1.94
Punto de nube	° C	ASTM D-2500	-3	2	4	4	5	5	-266.7
Agua por destilación	% V	PNE/DPEC/ASTM D-4006	<0,050	0.025	0.05	0.05	0.05	0.1	0
Azufre	% P	PNE/DPEC/P/MI04 Ref. ASTM D-4294	0.0308	0.0241	0.0204	0.0163	..0160	0.0145	-52.92
Poder calorífico neto	MJ/kg	PNE/DPEC/P/ASTM D-287	42.7819	42.64	42.3	42.57	42.57	42.52	-0.61
Sedimento básico y agua (%BSW)	% V	ASTM D-4007	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0

Fuente: (Villacis & Burgos, 2016)

3.1.4. Mezcla combustible

Caracterizada la mezcla combustible en las proporciones B5, B10, B15, B20, B25 y B100, se determinó que la mezcla combustible óptima de funcionamiento de un motor diésel es B5.

A continuación, se describe el proceso de la mezcla combustible B5.

1. Se requiere 20lts de mezcla combustible B5, mesclando 19lts de diésel convencional y un litro de biodiesel.



Figura No. 38. Diésel y biodiesel

2. Mezclar el biodiesel en u depósito.



Figura No. 39. Preparación de la mezcla combustible B5

3. Finalmente se obtiene la mezcla combustible B5.



Figura No. 40. Mezcla combustible B5

3.2. Selección de los elementos del banco CRDI

Los elementos del banco de pruebas fueron seleccionados tomando referencia las características del banco de pruebas que se muestran en la siguiente Tabla No.8.

Tabla No. 8.

Ficha técnica del banco de pruebas

DATOS TÉCNICOS			
Motor	Trifásico: 220V / 23,2 A		
	Potencia: 7,5 HP		
Bomba de alta presión	Denso HP3		
	Mecánica		
Capacidad del estanque de fluido	22 GALONES		
Filtro de Combustible	GM MWM diésel 93349123		
Inyectores	Denso 0091		
Depósito de inyección	3 galones		
UNIDADES			
	Rango	Unidad	Resolución
Presión	0 – 30000 V	psi	1 psi
Caudal	0 – 100 ml / # inyecciones	ml / # inyecciones	0,1 ml / # inyecciones
Tensión	0 – 5 V	V	0.01 V
Volumen	0 -100 ml	ml	0,1 ml

Fuente: (Salinas Carvajal & Villavicencio Ramos, 2013)

3.2.1. Selección de la bomba de alta presión.

La bomba de alta presión, Denso modelo HP3, se escogió por la elevada presión que necesitan los sistemas CRDI, por un gran prestigio en el mercado ecuatoriano, marcas como Toyota e Hino trabajan con dicha bomba.

3.2.2. Selección de los inyectores

Los inyectores utilizados en investigación son de marca Denso modelo X2, La siguiente Tabla No.9, presenta las características del inyector.

Tabla No. 9.

Valores de funcionamiento del inyector Denso

Parámetro	Valor
Voltaje (V)	80V
Amperaje(A)	80A(conjunto) 20A(c/u)
Resistencia(Ohm)	0,5Ω
Presión de apertura	200bar
Presión máxima	1800bar

Fuente: (Jácome Moromenacho & López Nicolalde , 2013)

3.2.3. Depósito de inyección sumergida

A. Función

Permite el proceso de inyección de forma tal que no existe pérdida de combustible, sumergido en el mismo, evitando que en la inyección del carburante no se atomice, Figura No.41, además ayuda a mantener una temperatura promedio de 25 a 30 °C.



Figura No. 41. Depósito de inyección

Las dimensiones del depósito fueron adecuadas para ubicarse correctamente en la parte inferior de los inyectores, tiene una válvula de dos vías que mantiene el combustible en un nivel adecuado para refrigerar y permitir la inyección en la tobera.



Figura No. 42. Nivel del combustible

B. Modelado del depósito de inyección.

Modelado en el programa de diseño Solid Works, Figura No.43

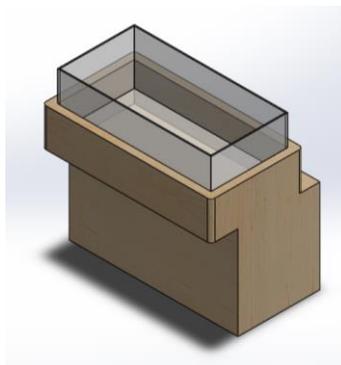


Figura No. 43. Modelado del depósito de inyección

3.2.4. Sistema de refrigeración del combustible

Mantiene la temperatura adecuada de la mezcla combustible, se utilizó un enfriador de aceite Figura No.44, del vehículo Suzuki SZ. Fabricado de cobre, permite el paso de la mezcla combustible por su interior, donde tiene unas mallas que mantienen la temperatura a una temperatura de entre 25 a 30 °C.

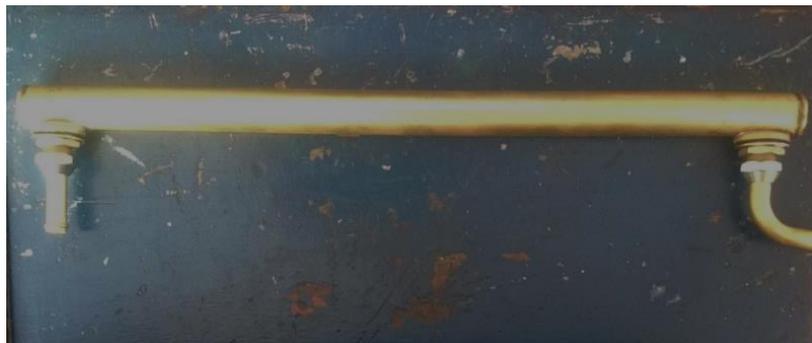


Figura No. 44. Enfriador de aceite de transmisión

3.2.5. Modulo impulsor de los inyectores

El módulo impulsor se realizó con el fin de pulsar a los cuatro inyectores durante horas extendidas de trabajo, consta con dispensadores de calor necesario para realizar las pruebas de durabilidad.

A. Partes del Hardware

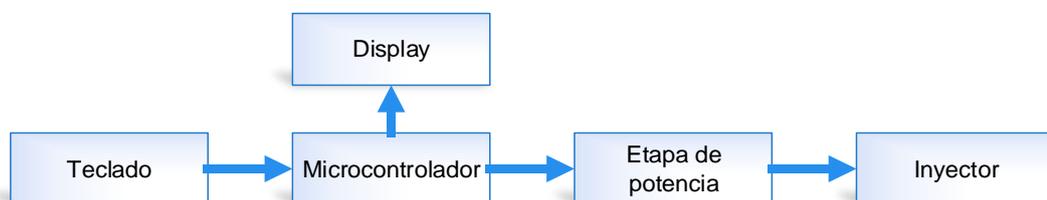
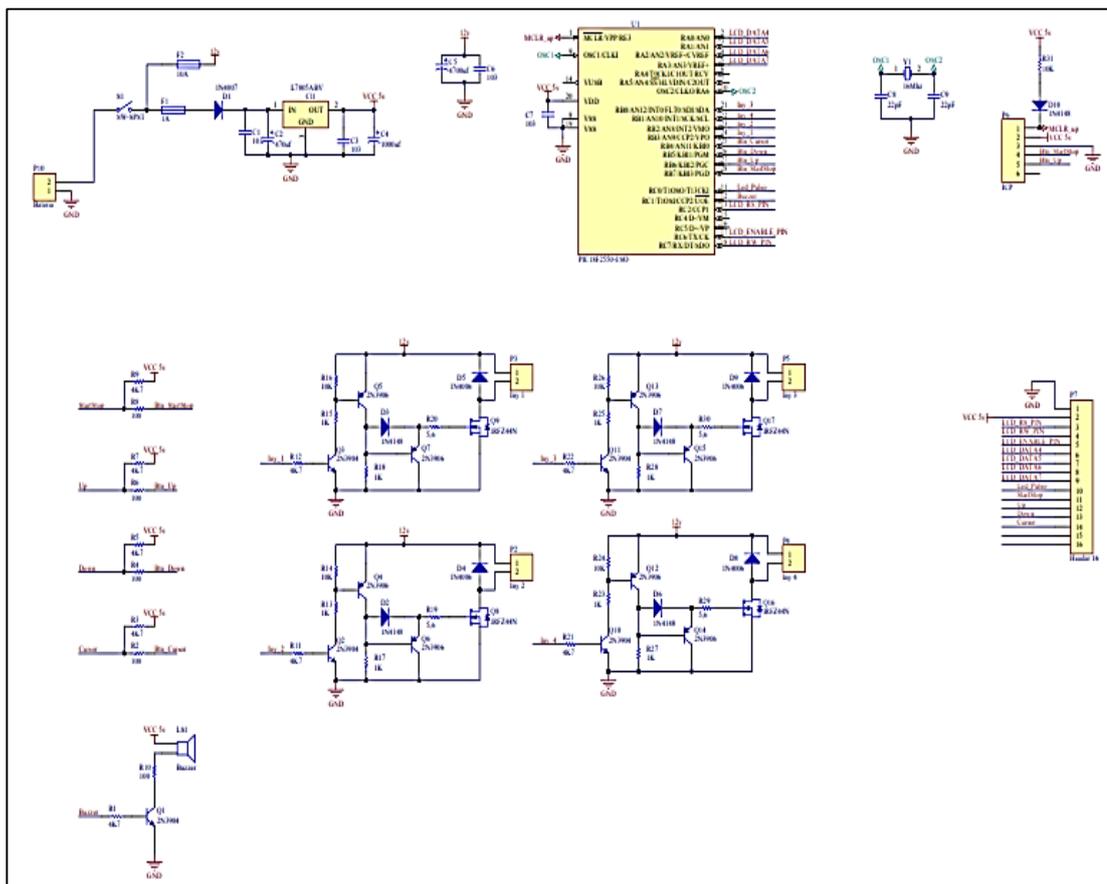


Figura No. 45. Partes de Hardware

- **Teclado.** Escanea las teclas y verifica si fueron pulsadas por el usuario

- **Display.** Muestra todas las configuraciones que posee el equipo y el usuario puede cambiar.
- **Etapa de Potencia.** Maneja el voltaje y corriente necesarios para que los inyectores puedan trabajar dentro de los parámetros configurados.
- **Microcontrolador.** Se encarga de toda la lógica y funcionalidad del equipo, aquí reside el firmware que controla el equipo y las características necesarias del mismo.

B. Diagrama del circuito de impulsión



C. Funcionamiento del módulo

- **Etapa de Potencia**

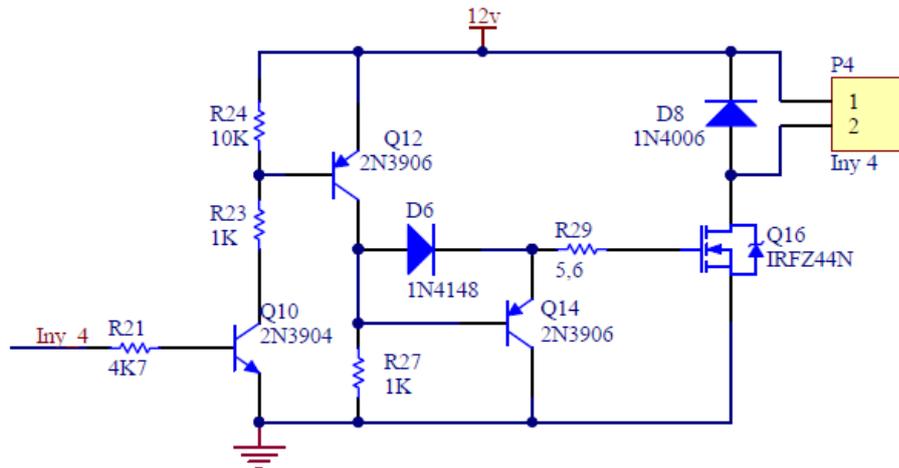


Figura No. 47. Circuito de potencia

Esta etapa se encarga de recibir los pulsos del microcontrolador, los adapta en corriente y voltaje para aplicarse al inyector, Figura No.47.

El elemento principal es el mosfet de potencia IRFZ44N, actúa como interruptor dejando pasar corriente en intervalos de tiempo previamente configurados en el menú de usuario, en paralelo con el inyector se ubica un diodo para evitar que la corriente de retorno inducida por el bobinado del inyector dañe al mosfet, el resto de elementos como transistores y resistencias son para polarizar y hacer que el mosfet trabaje dentro de una zona segura. Esta etapa es igual para cada uno de los inyectores y son controladas por un pin independiente del microcontrolador, finalmente se debe considerar disipar el calor generado en el mosfet colocando una lámina disipadora de aluminio para los cuatro mosfets.

- Fuente de alimentación.

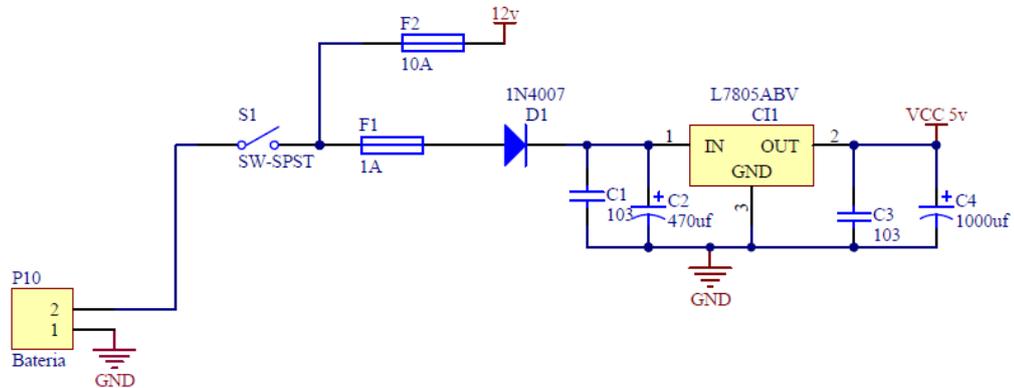


Figura No. 48. Fuente de alimentación

Esta etapa tiene como función brindar el voltaje necesario para que funcione todo el equipo, estos son de 12v y 5v, Figura No.48.

El elemento principal es el circuito regulador L7805, en su entrada recibe 12 V y a su salida entrega 5 V regulados para que funcione el microcontrolador y sus asociados, este circuito puede proveer 1 amperio, pero en la práctica el consumo es muy inferior.

Como protección se conecta dos fusibles uno para los 5 V y otro para los 12 V, es tomado directo de la fuente externa y se aplica al inyector, la fuente externa debe entregar suficiente corriente para los cuatro inyectores.

Esta etapa es ideal para ubicar un switch de encendido y apagado general del tipo manual ON/OFF.

- **Teclado**

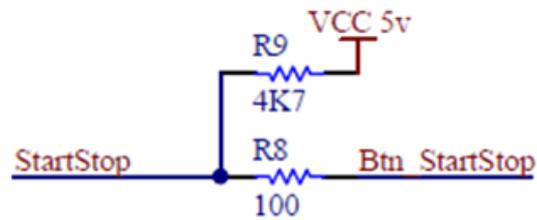


Figura No. 49. Circuito del teclado

Esta etapa se encarga de polarizar las 4 teclas para que entreguen un cero lógico cuando se presiona y un uno lógico cuando no está presionado. Figura No.49, cada tecla está conectada a un pin del microcontrolador y dentro del software se escanea en busca de una tecla presionada para que realice la función que solicita el usuario.

- **Buzzer**

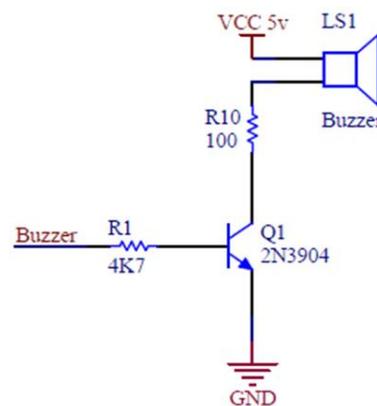


Figura No. 50. Circuito Buzzer

Esta etapa se encarga de emitir un sonido dependiendo de la tarea que se ejecute. Principalmente utilizado para emitir un sonido audible indicando que el tiempo de pruebas del inyector terminó, consta de un buzzer que funciona a 5 V controlada por un transistor polarizado como interruptor quien recibe las órdenes del microcontrolador y conecta el pin negativo del buzzer a tierra provocando que emita el sonido, Figura No.50.

- Conector del display

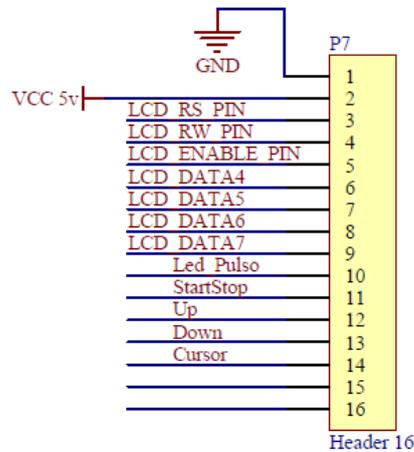


Figura No. 51. Conector del display

Este conector une el display y los botones con el microcontrolador, los dos elementos son el interfaz con los que interactua el usuario tanto para ver la configuracion en el display como para cambiar los mismos con los botones.

Para controlar el display se necesita de un total de 7 pines y para los botones 4, Figura No.51, dentro del software del microcontrolador esta el driver para el LCD y el escaneo de las teclas y son usadas de acuerdo a las necesidades del funcionamiento del equipo.

- Microcontrolador

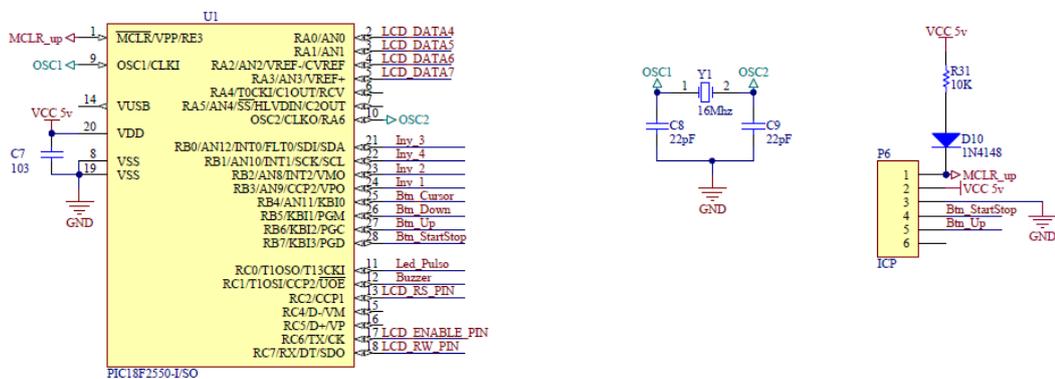


Figura No. 52. Microcontrolador

El microcontrolador es donde reside toda la funcionalidad que se necesita obtener, una vez levantado los requisitos, se debe proceder a escribir el software que reside en el microcontrolador y que controla todo el hardware e interactúa con el usuario, , Figura No.52.

El PIC 18F2550 del fabricante Microchip es el elegido pues cumple con la velocidad de procesamiento, el número de pines requeridos, la cantidad de memoria de programa estimada y las herramientas requeridas para su programación.

Para polarizar al microcontrolador se necesita un cristal de 16Mhz y sus respectivas conexiones de voltaje, para la programación se utilizan el conector ICP.

D. Cálculos del tiempo de inyección de referencia bajo condiciones reales

Datos:

- Potencia (P): 116 kW
- Revoluciones (rpm): 2800 rpm
- Consumo específico de combustible (b): $358,3 \frac{\text{gr}}{\text{kW. h}}$
- Número de cilindros (n): 4
- Contante para motor de 4 tiempos (k): 2
- Duración de la inyección en grados del cigüeñal (G_e): 24° giro del cigüeñal
- Densidad del Biodiesel (ρ): $884,9 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$

Cálculos

- **Consumo específico de combustible (b):**

$$b = \frac{b * rpm}{\rho} \quad \text{Ec. 1}$$

$$b = \frac{358,3 \frac{\text{gr}}{\text{kW} \cdot \text{h}} * 2800 \text{ rpm}}{884,9 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}}$$

$$b = \frac{358,3 \frac{\text{gr}}{\text{kW} \cdot \text{h}} * 2800 \text{ rpm}}{884,9 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}}$$

$$b = 47,1021 \frac{\text{lt}}{\text{h}}$$

- **Consumo específico de combustible aproximado a media potencia y a 100km/h:**

$$b_{1/2p} = b * 0,3 \quad \text{Ec. 2.}$$

$$b_{1/2p} = 47,1021 \frac{\text{lt}}{\text{h}} * 0,3$$

$$b_{1/2p} = 14,1306 \frac{\text{lt}}{100\text{Km}}$$

- **Potencia por cilindro (P_c)**

$$P_c = \frac{P}{n} \quad \text{Ec. 3.}$$

$$P_c = \frac{116 \text{ kW}}{4}$$

$$P_c = 29,0822 \text{ Kw}$$

- **Cantidad de combustible inyectado (Kv)**

$$Kv = \left(\frac{b * P}{\rho} \right) * \frac{1}{60} \quad \text{Ec. 4.}$$

$$Kv = \frac{358,3 \frac{\text{gr}}{\text{kW} \cdot \text{h}} * \frac{1 \text{Kg}}{1000 \text{gr}} * 116 \text{ kW} * \frac{1 \text{h}}{60 \text{min}}}{884,9 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * \frac{\text{m}^3}{\text{lt}}}$$

$$Kv = 0,7850 \frac{\text{lt}}{\text{min}}$$

- **Cantidad de combustible inyectado por cilindro (Kv_c)**

$$Kv_c = \frac{Kv}{n} \quad \text{Ec. 5.}$$

$$Kv_c = \frac{0,7850 \frac{\text{lt}}{\text{min}}}{4}$$

$$Kv_c = 0,1925 \frac{\text{lt}}{\text{min}}$$

- **Volumen inyectado por cilindro (V_c)**

$$V_c = \frac{Kv_c * k}{\text{rpm}} \quad \text{Ec. 6.}$$

$$V_c = \frac{0,1925 \frac{\text{lt}}{\text{min}} * \frac{\text{m}^3}{\text{lt}} * \frac{1000000 \text{ mm}^3}{\text{m}^3} * 2}{2800 \frac{\text{rev}}{\text{min}}} * 1000000$$

$$V_c = 140,1849 \text{ mm}^3$$

- **Tiempo de la inyección (T_i)**

$$T_i = \frac{G_c}{\text{rpm}} \quad \text{Ec. 7.}$$

$$T_i = \frac{24}{2800 \frac{\text{rev}}{\text{min}} * \frac{360}{1 \text{ rev}} * \frac{1 \text{ min}}{60000 \text{ ms}}}$$

$$T_i = 1,4285ms$$

- **Período de la inyección en el ciclo fin de la compresión inicio del escape (T_e)**

$$T_e = \frac{180 - 24}{rpm} \quad \text{Ec. 8.}$$

$$T_e = \frac{180 - 24}{2800 \frac{\text{rev}}{\text{min}} * \frac{360}{1 \text{ rev}} * \frac{1 \text{ min}}{60000 \text{ ms}}}$$

$$T_e = 9,2857 \text{ ms}$$

- **Período de la inyección (T)**

$$T = (T_i + T_e) * 4 \quad \text{Ec. 9.}$$

$$T = (1,4285ms + 9,2857 \text{ ms}) * 4$$

$$T = 42,8571$$

Se calculó el tiempo de inyección de referencia bajo condiciones reales de explotación de un motor diésel con los parámetros de inyección especificados en el punto d, sección 3.2.5.

Luego de la puesta en marcha del banco de pruebas se observó que la temperatura del riel aumentó a cerca de 70 °C, convirtiéndose en un entorno inseguro y se disminuyó las revoluciones de funcionamiento de la bomba para minimizar la presión del sistema hasta límites seguros. El segundo procedimiento fue mantener el tiempo de inyección de referencia con las nuevas revoluciones de la bomba de alimentación.

Luego de estabilizar el banco de pruebas se determinó que las revoluciones de la bomba para un correcto funcionamiento del banco son 300 rpm.

E. Operación del módulo



Figura No. 53. Panel de control modulo impulsor

1. **Pulsador 1.-** Direcciona hacia la izquierda en la configuración del tiempo de inyección, y regresa al inicio para ejecutar la inyección
2. **Pulsador 2.-** Direcciona hacia arriba en la configuración del tiempo de inyección, habilita o deshabilita los inyectores y aumenta el tiempo de trabajo si es necesario.
3. **Pulsador 3.-** Direcciona hacia abajo en la configuración del tiempo de inyección, habilita o deshabilita los inyectores y disminuye el tiempo de trabajo si es necesario.
4. **Pulsador 4.-** Direcciona hacia la derecha en la configuración del tiempo de inyección, ejecuta cada una de las configuraciones y pausa la inyección si es necesario.
5. **Alimentación de voltaje.** - Energizar con 12 V el módulo impulsor.
6. **Switch de encendido.** - Prender y apaga al módulo impulsor.

Tabla No. 10.

Operacionalización del módulo impulsor electrónico

Procedimiento	Imagen
Una vez que se ha energizado el circuito con 12 V y el switch del módulo impulsor, se visualiza en el LCD "Test Inyectores Diésel".	
Automáticamente se observa el primer panel que contiene las opciones ejecutar y configurar.	

CONTINÚA →

Procedimiento	Imagen
Con la configuración de los parámetros de inyección, accionar el pulsador 2 y ejecutar con el pulsador 1.	

El segundo panel se despliega en la pantalla con los siguientes parámetros de inyección:

- Tiempo de Inyección.
- Tiempo de descanso.
- Orden de encendido.
- On/Off inyectores.
- Tiempo de trabajo.

Con lo pulsadores 2 y 3 se despliega de arriba hacia abajo y con el pulsador 4 se ejecuta cada una de las configuraciones.

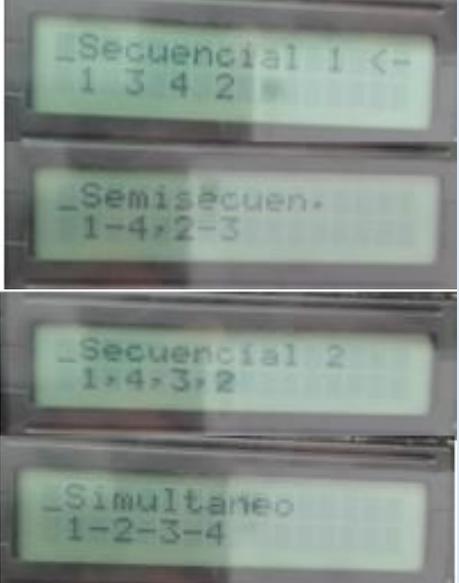
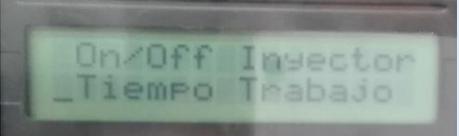
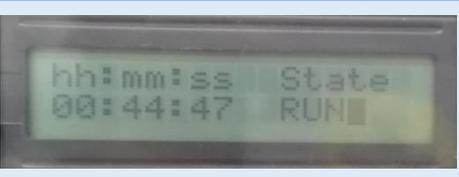
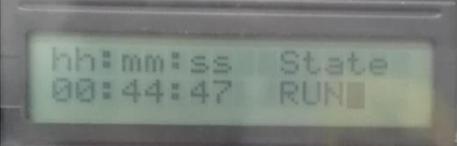
Al ingresar en la configuración de tiempo de inyección, se elige el tiempo de inyección deseado, con la ayuda del pulsador 4 se configuran los números enteros y decimales, los pulsadores 2 y 3 aumentan o disminuyen el tiempo de inyección. Para regresar al segundo panel se oprime el pulsador 1, este paso se realiza en cada una de las configuraciones.

Tabla No. 11

Operacionalización del módulo impulsor electrónico

Procedimiento	Imagen
El tiempo de descanso opera de la misma manera que el tiempo de inyección.	
Desplegar hacia abajo con el pulsador 2, para encontrar la configuración de orden de encendido y ejecutar con el pulsador 4.	

CONTINÚA →

Procedimiento	Imagen
<p>Dentro de esta configuración se encuentran cuatro tipos de orden de encendido:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Secuencial 1(1,3,4,2) • Secuencial 2(1,4,3,2) • Semisecuencial(1-4;2-3) • Simultáneo(Todos a la vez) <p>Con los pulsadores 2 y 3 deslizar de arriba hacia abajo, con el pulsador 4 elegir el orden de encendido, en el momento de seleccionar, aparece una flecha en la parte superior que confirma el orden de encendido.</p>	
<p>Para la configuración On/Off inyectores que representa a la habilitación y deshabilitación, se usan los pulsadores 1 y 4 para dirigirse a cada uno, los pulsadores 2 y 3 para habilitar o deshabilitar.</p>	
<p>Elegir la configuración de tiempo de trabajo.</p>	
<p>Una vez configurados los parámetros regresar al primer panel oprimiendo el pulsado 2 y seleccionar la opción ejecutar con el pulsador 4.</p>	
<p>En la pantalla se visualiza un contador regresivo equivalente al tiempo de trabajo configurado, se observa el estado de la prueba de inyección, la letra "RUN" significa que la inyección se está efectuando normalmente, para pausar oprimir el pulsador 4.</p>	
<p>Finalmente cuando ha transcurrido el tiempo de trabajo, el módulo emite un sonido de finalización de la prueba, es necesario pausar para salir al panel principal y apagar el módulo y luego desenergizar.</p>	

3.3. Ensayos de durabilidad

3.3.1. Operacionalización del banco de pruebas

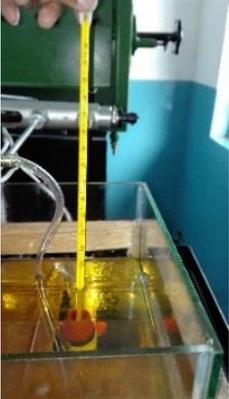
En la Tabla No. 12, se describen los pasos para el correcto funcionamiento del banco de pruebas CRDI. Este proceso se ejecutó en cada lapso de tiempo de 50, 100, 150, 200 horas de los ensayos de durabilidad.

Tabla No. 12

Operacionalización del banco de pruebas

Procedimiento	Imagen
Energizar el sistema eléctrico accionando los brakes de 120 y 220V.	
Los enchufes del módulo impulsor de inyectores y del banco de pruebas CRDI son conectados a las tomas de corriente de 110 y 220 V respectivamente.	
Revisar el estado y nivel del combustible en el depósito de inyección y en el depósito de combustible.	
Accionar el switch que permite el paso de los 110V para el funcionamiento del módulo impulsor de inyectores.	
Configurar los parámetros de inyección en el módulo impulsor.	

CONTINÚA →

Procedimiento	Imagen
<p>Accionar el brake que admite el paso de los 220 V para el funcionamiento del motor eléctrico y de su módulo electrónico.</p>	
<p>Comprobar que no esté oprimido el botón de bloqueo y si es el caso desbloquear.</p>	
<p>Pulsar el botón ON para encender el banco de pruebas.</p>	
<p>Seleccionar el sentido antihorario en el módulo del motor eléctrico.</p>	
<p>Como el sistema de impulsión es independiente al sistema de alimentación de combustible, en primer lugar hay que ejecutar los pulsos y con un desfase mínimo de tiempo ajustar las rpm con la perilla y comprobar su valor en la pantalla del módulo del motor eléctrico.</p>	
<p>Una vez que se ha iniciado la inyección es necesario tomar un registro de temperatura del combustible en los depósitos ya mencionados.</p>	

CONTINÚA →

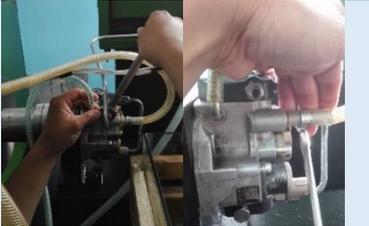
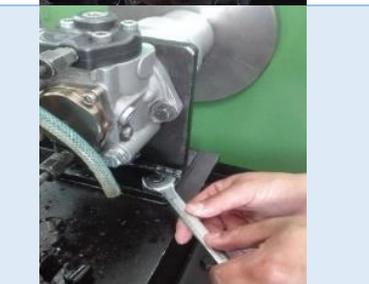
Procedimiento	Imagen
<p>El botón de bloqueo se debe accionar cuando exista cualquier anomalía en el funcionamiento, es necesario un extintor recargado, verificar la fecha de expiración del mismo.</p>	
<p>Transcurridas las horas de trabajo programadas, el módulo impulsor deja de funcionar automáticamente y para apagar el banco de pruebas oprimir el botón OFF.</p>	

3.3.2. Trabajos en la bomba de alta presión HP3.

A. Desmontaje

Tabla No. 13

Desmontaje bomba de alta presión HP3

Procedimiento	Imagen
<p>Desconectar las cañerías y mangueras de suministro y retorno de combustible.</p>	
<p>Con la llave mixta 13 desmontar la bomba de alta presión de la base.</p>	
<p>Retirar la base con una llave mixta 14.</p>	

CONTINÚA →

Procedimiento	Imagen
<p>Anclar en la entenalla, con una racha 19 y una palanca de fuerza aflojar la tuerca de sujeción entre la bomba y el soporte.</p>	

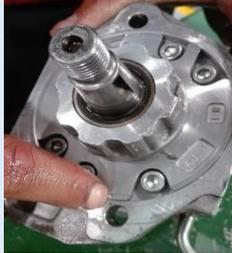
B. Desarmado

Tabla No. 14

Desarmado bomba de alta presión HP3

PROCEDIMIENTO	IMAGEN
<p>Con un juego de hexágonos desarmar las válvulas de descarga con sus subconjuntos, tomar en cuenta la posición de cada uno.</p> <p>NOTA. De ser necesario se recomienda por medio de un puntero, poner un punto guía.</p>	
<p>Extraer la válvula de alimentación verificando su posición.</p> <p>NOTA. Ver la posición de los puntos guías.</p>	
<p>Retirar lo demás subcomponentes del sistema de alimentación tomar en cuenta su posición.</p>	
<p>Verificar la posición de los componentes de la bomba de alimentación, tomar en cuenta el punto de fábrica.</p>	

CONTINÚA →

PROCEDIMIENTO	IMAGEN
	
Retirar el árbol de levas con un hexágono.	
Verificar la posición mediante el punto guía de la carcasa de la bomba.	
Comprobar la posición de la leva anular.	

C. Armado

Para el armado de la bomba HP3 se realizan los pasos de desarmado de manera inversa, tener en cuenta los puntos de referencia y demás factores que influyan en el correcto funcionamiento de la misma.

D. Montaje

Para el montaje de la bomba HP3 en el banco de pruebas, se realiza los pasos del desmontaje de manera inversa, tener en cuenta los puntos de referencia y demás factores que influyan en el correcto funcionamiento de la misma.

3.3.3. Trabajos en los inyectores

A. Desmontaje

Tabla No. 15

Desmontaje del inyector

Procedimiento	Imagen
<p>Finalizados los ciclos de trabajo establecidos de 50, 100, 150, 200 horas, desmontar el inyector de la cañería con la herramienta adecuada.</p>	
<p>Desmontar la cañería del riel común.</p>	
<p>Colocar un tapón en lugar de las cañerías a medida que se sacan los inyectores, con el fin de mantener la presión para el funcionamiento de los inyectores restantes.</p>	

B. Desarmado

Tabla No. 16.

Desarmado del inyector

Procedimiento	Imagen
<p>Con la ayuda de la entenalla y una llave aflojar el bobinado del inyector y el conjunto tobera del inyector.</p> <p>NOTA: Ver la posición de los puntos guías.</p>	

CONTINÚA →

Se muestra los componentes internos y externos del inyector y la herramienta necesaria para realizar este trabajo.



C. Armado

Para el armado del inyector se realiza los pasos del desarmado de manera inversa, tomando en cuenta los puntos de referencia y demás factores que influyan en el correcto funcionamiento del mismo.

Es necesario mencionar que el montaje del inyector al banco de pruebas específicamente al riel común no se describe, una vez medido el peso, los inyectores se someten a diversas pruebas que se indican posteriormente.

CAPÍTULO IV

4. ANÁLISIS Y RESULTADOS

4.1. Comprobación y análisis del comportamiento del material en los componentes de la bomba de alta presión

4.1.1. Peso

Las mediciones de peso de los componentes de la bomba Denso HP3 en contacto con mezcla combustible B5, se realizó en balanzas analíticas de una y cuatro décimas de exactitud, debido a que la balanza analítica de cuatro décimas, tolera hasta 200 gramos y existen elementos con mayor peso para lo cual se utilizó la otra balanza analítica.

Con ayuda de la línea de tendencia y su ecuación se podrá realizar una aproximación para más horas de trabajo como se aprecia en las tablas de estimaciones de cada uno de los componentes de la bomba de alta presión.



Figura No. 54. Balanza analítica

A continuación, se muestran las figuras de desgaste de cada elemento de la bomba de alta presión. Las tablas indican valores aproximados de un posible

desgaste en futuras horas, basados en la fórmula de estimación tanto en bomba de alta presión, como de los inyectores.

A. Rotor interno



Figura No. 55. Rotor interno

Tabla No. 17.

Desgaste del rotor interno

Descripción del elemento	0 0	50 2000	100 4000	150 6000	200 8000	Horas Km
Rotor interno	36.0827	36.0824	36.0812	36.0806	36.0799	gramos

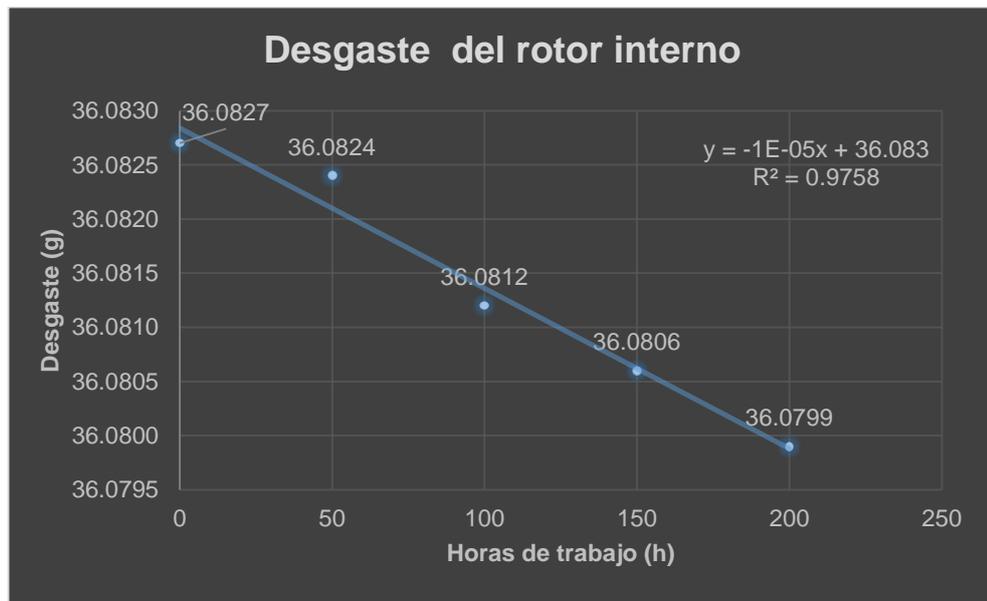


Figura No. 56. Desgaste del rotor interno

La Figura No. 56 muestra el coeficiente de determinación del rotor interno, presenta un valor $R^2 = 0.9758$, es decir, la línea se ajusta a los datos perfectamente cuando tiende a ser 1. El promedio de desgaste es de 0,0007 gr, el punto más alto se visualiza entre las 50 y 100 horas, es decir entre 2000 y 4000 Km estimados con 0.0012 gr de desgaste Tabla No. 18.

Tabla No. 18.

Estimación de desgaste del rotor interno

Desgaste	Horas	Kilómetros
36.058	2500	100000
36.073	1000	40000
36.074	900	36000
36.075	800	32000
36.076	700	28000
36.077	600	24000
36.078	500	20000
36.079	400	16000
36.08	300	12000

Con ayuda de la línea de tendencia y su ecuación se podrá realizar una aproximación para más horas de trabajo como se aprecia en la Tabla No.18, de estimaciones de cada uno de los componentes de la bomba de alta presión.

La aproximación en 2500 horas de trabajo o 100000 km estimados indica que existiría un desgaste de 0.2497 gr. Cuando supere los 100000 km o presente fallas, se recomienda realizar un mantenimiento preventivo para comprobar la eficiencia del motor.

B. Rotor externo



Figura No. 57. Rotor externo

Tabla No. 19.

Desgaste del rotor externo

Descripción del elemento	0 0	50 2000	100 4000	150 6000	200 8000	Horas Km
Rotor externo	43.9418	43.9407	43.9399	43.9393	43.9391	gramos

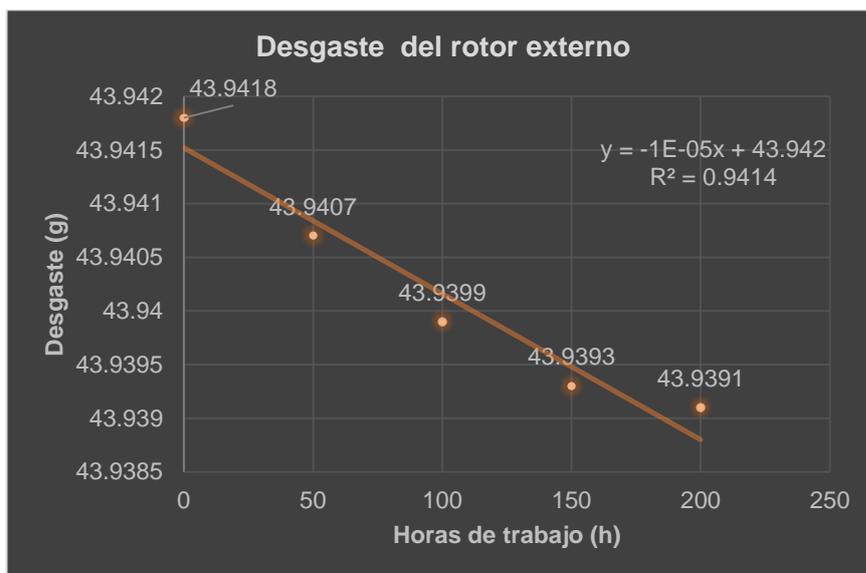


Figura No. 58. Desgaste del rotor externo

La Figura No. 58 muestra el coeficiente de determinación del rotor externo, presenta un valor $R^2 = 0.9414$. El promedio de desgaste entre cada hora de trabajo es de 0,000675 gr, el punto más alto de desgaste se visualiza entre las 0 y 50 horas es decir entre 0 y 2000 Km estimados con 0.0011 gr de desgaste Tabla No. 19.

Tabla No. 19.

Estimación de desgaste del rotor externo

Desgaste	Horas	Kilómetros
44.192	2500	100000
43.952	1000	40000
43.951	900	36000
43.95	800	32000
43.949	700	28000
43.948	600	24000
43.947	500	20000
43.946	400	16000
43.945	300	12000

La aproximación en 2500 horas de trabajo o 100000 km estimados indica que existiría un desgaste de 0.2502 gr. Cuando supere los 100000 km o presente fallas, se recomienda realizar un mantenimiento preventivo para comprobar la eficiencia del motor Tabla No. 20.

C. Chaveta



Figura No. 59. Chaveta

Tabla No. 20.

Desgaste de la chaveta

Descripción del elemento	0 0	50 2000	100 4000	150 6000	200 8000	Horas Km
Chaveta	0.9586	0.9584	0.9582	0.958	0.9577	gramos

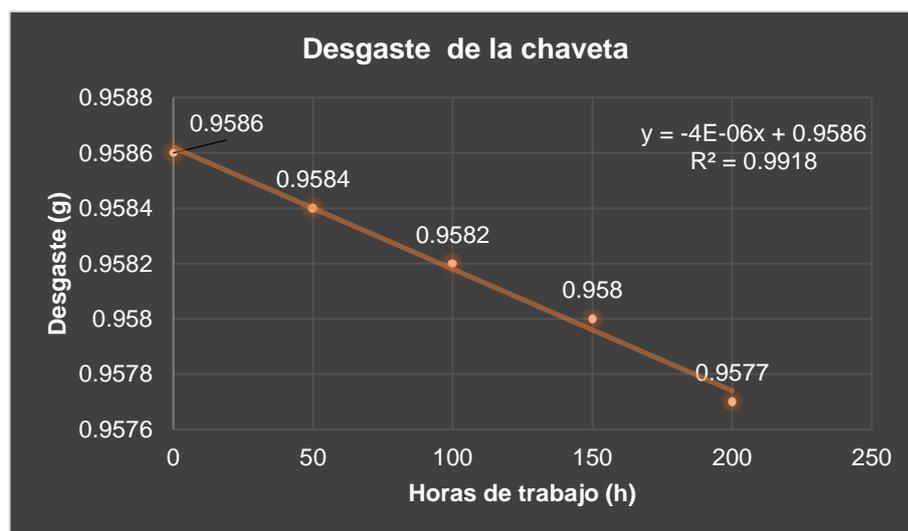


Figura No. 60. Gráfica de desgaste de la chaveta

La Figura No. 60 muestra el coeficiente de determinación de la chaveta, presenta un valor $R^2 = 0.9918$. El promedio de desgaste entre cada hora de

trabajo es de 0,000225 gr, el punto más alto de desgaste se visualiza entre las 150 y 200 horas es decir entre 6000 y 8000 Km estimados con 0.0003 gr de desgaste Tabla No. 21.

Tabla No. 21.

Estimación de desgaste de la chaveta

Desgaste	Horas	Kilómetros
0.8586	2500	100000
0.9546	1000	40000
0.955	900	36000
0.9554	800	32000
0.9558	700	28000
0.9562	600	24000
0.9566	500	20000
0.957	400	16000
0.9574	300	12000

La aproximación en 2500 horas de trabajo o 100000 km estimados indica que existiría un desgaste de 0.1 gr. Cuando supere los 100000 km o presente fallas, se recomienda realizar un mantenimiento preventivo para comprobar la eficiencia del motor Tabla No. 22.

D. Separador



Figura No. 61. Separador

Tabla No. 22.

Desgaste del separador

Descripción del elemento	0	50	100	150	200	Horas
	0	2000	4000	6000	8000	Km
Separador	48.1061	48.1040	48.1038	48.1021	48.1002	gramos

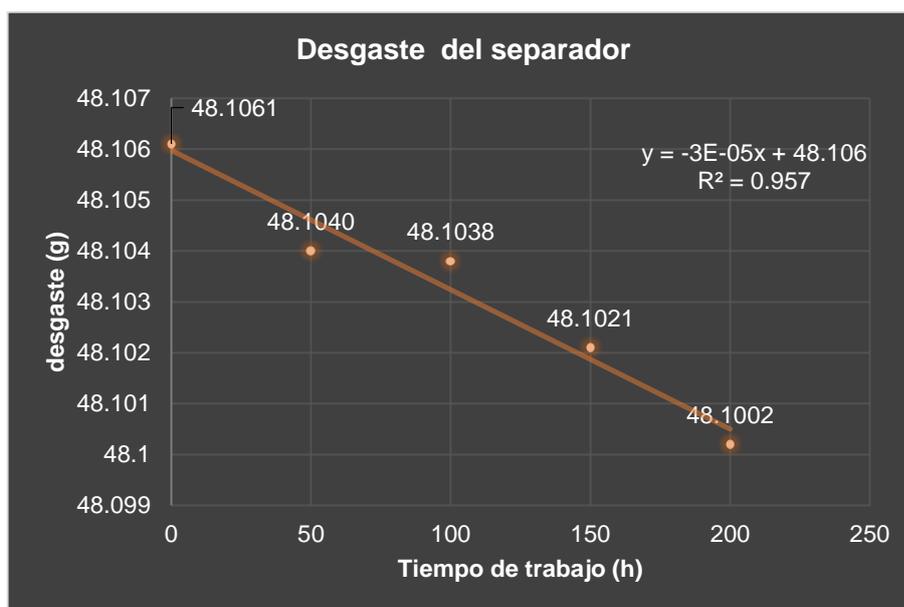


Figura No. 62. Desgaste del separador

La Figura No. 62 muestra el coeficiente de determinación del separador, presenta un valor $R^2 = 0.957$. El promedio de desgaste entre cada hora de trabajo es de 0,001475 gr. El punto más alto de desgaste se visualiza entre las 150 y 200 horas es decir entre 6000 y 8000 Km estimados con 0.0019 gr de desgaste Tabla No. 23.

Tabla No. 23.

Estimación de desgaste del separador

Desgaste	Horas	Kilómetros
47.356	2500	100000
48.076	1000	40000
48.079	900	36000
48.082	800	32000
48.085	700	28000
48.088	600	24000
48.091	500	20000
48.094	400	16000
48.097	300	12000

La aproximación en 2500 horas de trabajo o 100000 km estimados indica que existiría un desgaste de 0.7501 gr. Cuando supere los 100000 km o presente fallas, se recomienda realizar un mantenimiento preventivo para comprobar la eficiencia del motor Tabla No. 24.

E. Tapa de la bomba de alimentación



Figura No. 63. Tapa de la bomba de alimentación

Tabla No. 24.

Desgaste de la bomba de alimentación

Descripción del elemento	0 0	50 2000	100 4000	150 6000	200 8000	Horas Km
Bomba de Alimentación	190.2659	190.2647	190.2636	190.2033	190.2029	gramos

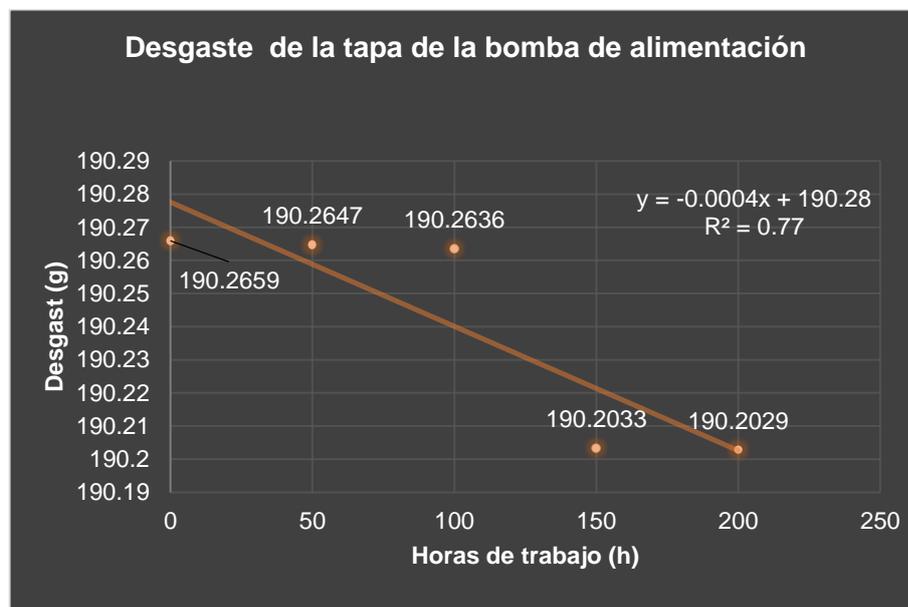


Figura No. 64. Desgaste de la tapa de la bomba de alimentación

La Figura No. 64 muestra el coeficiente de determinación de la bomba de alimentación, presenta un valor $R^2 = 0.77$, es decir, la línea mantiene un cambio diferente. El promedio de desgaste entre cada hora de trabajo es de 0,01575 gr. El punto más alto de desgaste se visualiza entre las 100 y 150

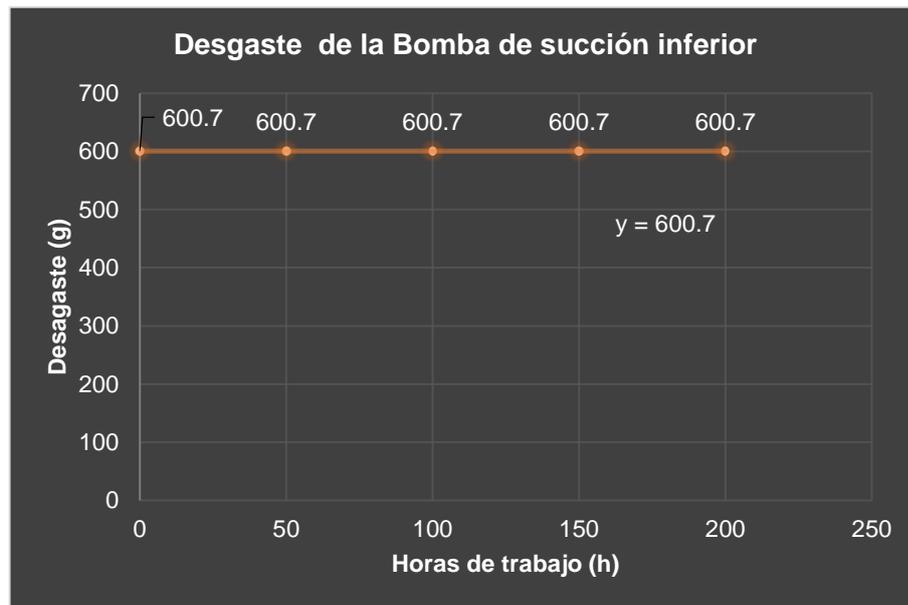


Figura No. 66. Desgaste de la bomba de succión inferior

La Figura No. 66 indica que no existe presencia de desgaste porque no existe fricción entre componentes.

G. Émbolo buzo inferior



Figura No. 67. Émbolo buzo inferior

Tabla No. 27.

Desgaste del émbolo buzo inferior

Descripción del elemento	0	50	100	150	200	Horas Km
	0	2000	4000	6000	8000	
Émbolo buzo inferior	34.3763	34.3756	34.3711	34.3700	34.3694	gramos

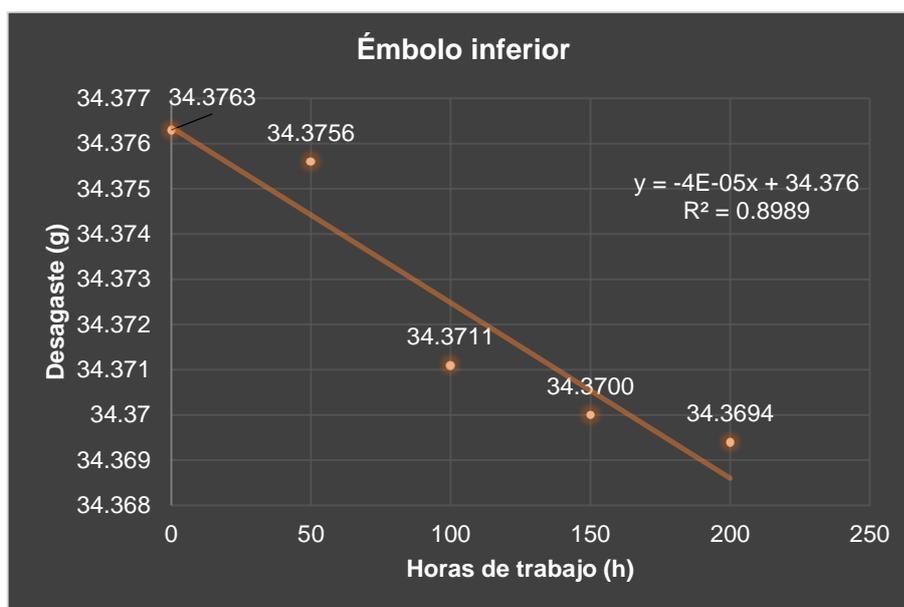


Figura No. 68. Émbolo inferior

La Figura No. 68 muestra el coeficiente de determinación del émbolo inferior, presenta un valor $R^2 = 0.8989$. El promedio de desgaste entre cada hora de trabajo es de 0,001725 gr. El punto más alto de desgaste se visualiza entre las 100 y 150 horas, es decir entre 4000 y 6000 Km estimados con 0.0011 gr de desgaste Tabla No. 28.

Tabla No. 28.

Estimación de desgaste del émbolo inferior

Desgaste	Horas	Kilómetros
33.376	2500	100000
34.336	1000	40000
34.34	900	36000
34.344	800	32000
34.348	700	28000
34.352	600	24000
34.356	500	20000
34.36	400	16000
34.364	300	12000

La aproximación en 2500 horas de trabajo o 100000 km estimados indica que existiría un desgaste de 1.003 gr. Cuando supere los 100000 km o presente fallas, se recomienda realizar un mantenimiento preventivo para comprobar la eficiencia del motor Tabla No. 29.

H. Bomba de succión superior



Figura No. 69. Bomba de succión superior

Tabla No. 29.

Desgaste de la bomba de succión superior

Descripción del elemento	0	50	100	150	200	Horas Km
	0	2000	4000	6000	8000	
Bomba de succión superior	608.7	608.7	608.7	608.7	608.7	gramos

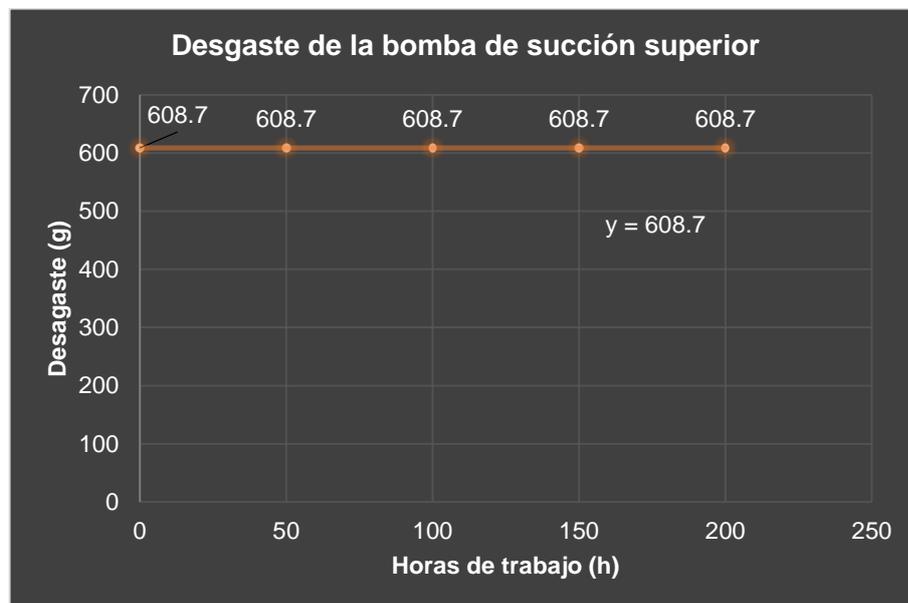


Figura No. 70. Desgaste de la bomba de succión superior

La Figura No. 70 indica que no existe presencia de desgaste porque no existe fricción entre componentes.

I. Émbolo buzo superior



Figura No. 71. Émbolo buzo superior

Tabla No. 30.

Desgaste del émbolo buzo superior

Descripción del elemento	0	50	100	150	200	Horas Km
Émbolo buzo superior	34.4533	34.4518	34.4506	34.4500	34.4497	gramos

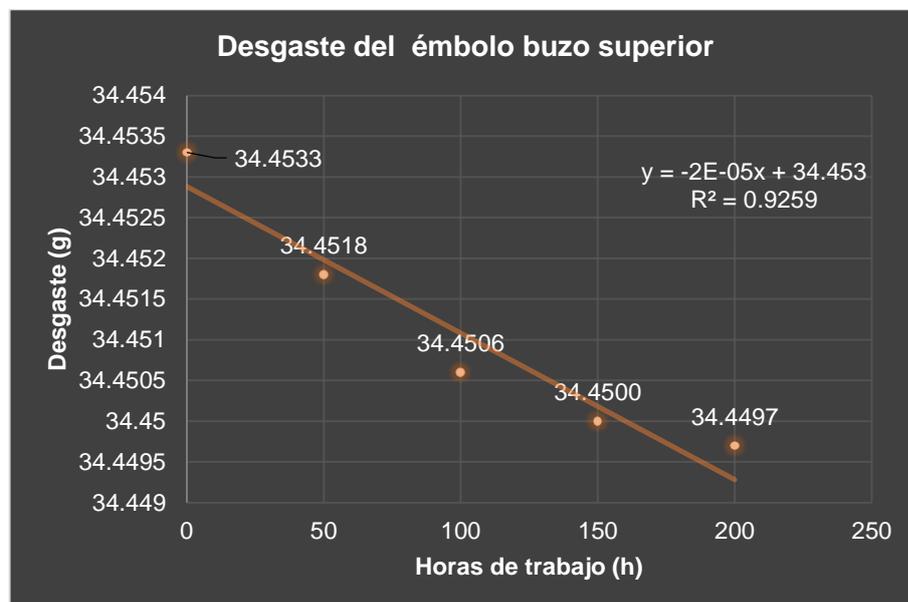


Figura No. 72. Desgaste del émbolo buzo superior

La Figura No. 72 muestra el coeficiente de determinación del émbolo buzo superior, presenta un valor $R^2 = 0.9259$. El promedio de desgaste entre cada hora de trabajo es de 0,0009 gr. El punto más alto de desgaste se visualiza

entre las 150 y 200 horas, es decir entre 0 y 2000 Km estimados con 0.0015 gr de desgaste Tabla No. 31.

Tabla No. 31.

Estimación de desgaste del émbolo buzo superior

Desgaste	Horas	Kilómetros
33.953	2500	100000
34.433	1000	40000
34.435	900	36000
34.437	800	32000
34.439	700	28000
34.441	600	24000
34.443	500	20000
34.445	400	16000
34.447	300	12000

La aproximación en 2500 horas de trabajo o 100000 km estimados indica que existiría un desgaste de 0.5003 gr. Cuando supere los 100000 km o presente fallas, se recomienda realizar un mantenimiento preventivo para comprobar la eficiencia del motor Tabla No. 32.

J. Leva anular



Figura No. 73. Leva anular

Tabla No. 32.

Desgaste de la leva anular

Descripción del elemento	0	50	100	150	200	Horas Km
	0	2000	4000	6000	8000	
Leva anular	160.7102	160.7098	160.7092	160.7083	160.7081	gramos

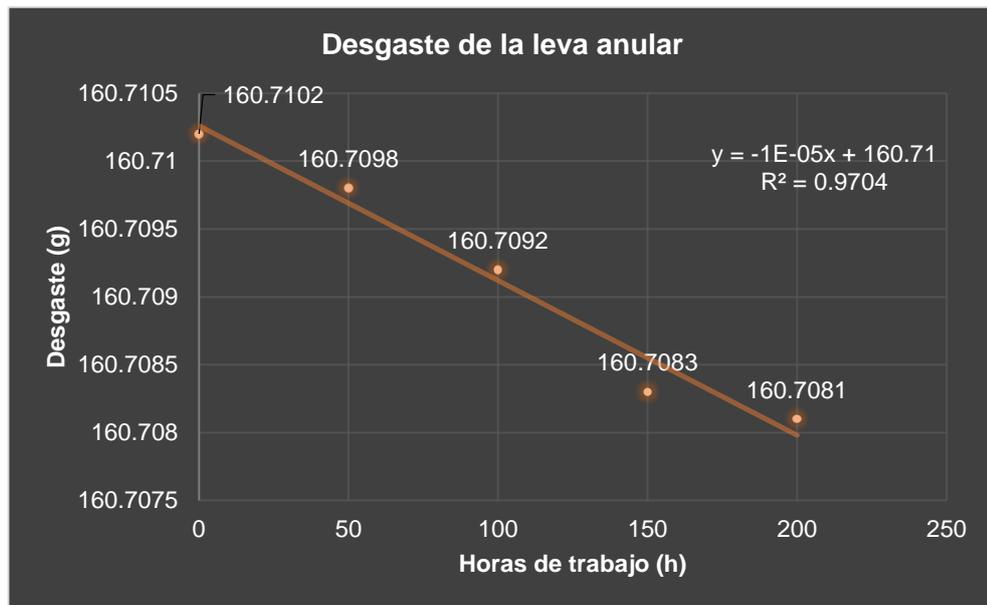


Figura No. 74. Desgaste de la leva anular

La Figura No. 74 muestra el coeficiente de determinación de la chaveta presenta un valor $R^2 = 0.9704$. El promedio de desgaste entre cada hora de trabajo es de 0,000225 gr. El punto más alto de desgaste se visualiza entre las 100 y 150 horas es decir entre 4000 y 6000 Km estimados con 0.000525 gr de desgaste Tabla No. 33.

Tabla No. 33.

Estimación de desgaste de la leva anular

Desgaste	Horas	Kilómetros
160.46	2500	100000
160.7	1000	40000
160.701	900	36000
160.702	800	32000
160.703	700	28000
160.704	600	24000
160.705	500	20000
160.706	400	16000
160.707	300	12000

La aproximación en 2500 horas de trabajo o 100000 km estimados indica que existiría un desgaste de 0.2502 gr. Cuando supere los 100000 km o presente fallas, se recomienda realizar un mantenimiento preventivo para comprobar la eficiencia del motor Tabla No. 34.

K. Tapa



Figura No. 75. Tapa

Tabla No. 34.

Desgaste de la tapa

Descripción del elemento	0 0	50 2000	100 4000	150 6000	200 8000	Horas Km
Tapa	303.7	303.7	303.7	303.7	303.7	gramos

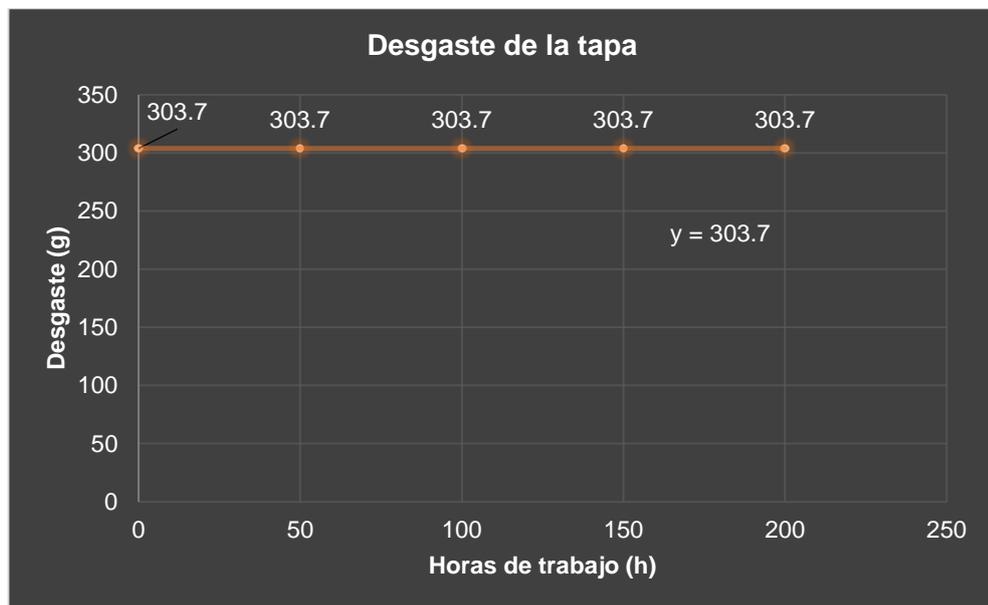


Figura No. 76. Desgaste de la tapa

La Figura No. 78 indica que no existe presencia de desgaste porque no existe fricción entre componentes.

L. Árbol de levas



Figura No. 77. Árbol de levas

Tabla No. 35.

Desgaste del árbol de levas

Descripción del elemento	0 0	50 2000	100 4000	150 6000	200 8000	Horas Km
Rotor interno	300.1	300.1	300.1	300.1	300.1	gramos



Figura No. 78. Desgaste del árbol de levas

La Figura No. 78 indica que no existe presencia de desgaste porque no existe fricción entre componentes.

Se aprecia en los valores obtenidos que existe una pérdida de peso en algunos elementos proporcional a las horas de trabajo.

Estos valores son importantes al indicar que se produjo un desgaste leve, según el número de horas de trabajo, estas variaciones no influyeron en el funcionamiento de la bomba de alta presión.

4.1.2. Desgaste

La revisión del comportamiento de los materiales de la bomba de alta presión se realizó en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE extensión Latacunga, en los laboratorios de química, se procedió a verificar su estado en 50, 100, 150 y 200 horas de trabajo con la mezcla combustible B5, bajo una distancia y luz propuesta exacta en todos los casos, obteniendo una muestra correcta de desgaste o alteración del material.

Tabla No. 36.

Comportamiento del material en la bomba de succión



El comportamiento del material en la bomba de succión permite ver falta de lubricidad notoria en la parte señalada, existe rozamiento en cada uno de las horas de trabajo con mayor visibilidad son comparadas a las 50 y 200 horas Tabla No. 37.

Tabla No. 37.**Comprobación del material en el separador superior**

La comprobación del material en el separador superior muestra un contacto con la bomba de succión, permite ver muestras de desgaste en los perímetros del separador Tabla No. 38.

Tabla No. 38.**Comprobación del material en el separador inferior**

El separador en la parte inferior muestra un aumento de rozamiento que se evidencia en la Tabla No. 39.

Tabla No. 39.**Comprobación del material en el émbolo buzo superior**

El émbolo buzo en su parte superior al realizar su movimiento axial comprende un desgaste en la parte cóncava de la cabeza que puede evidenciarse en Tabla No. 40.

Tabla No. 40.

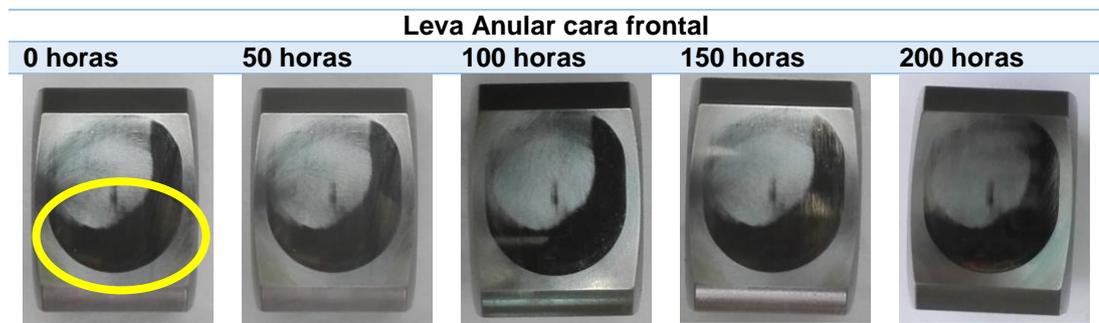
Comprobación del material en el émbolo buzo inferior



El émbolo buzo de la válvula de descarga inferior tiene marcas de desgaste en la parte central de la cabeza siendo notorias en las 200 horas de trabajo de la bomba de alta presión Tabla No. 41.

Tabla No. 41.

Comprobación del material en la leva frontal



La leva anular es el componente con mayor fricción y tiempo de exposición con la mezcla combustible, se evidencia un desgaste en la parte frontal. En 50, 100 y 200 horas de trabajo de ven marcas de desgaste en la parte superior Tabla No. 42.

Tabla No. 42.

Comprobación del material en la leva anular cara posterior

El comportamiento del material en la leva anular en la cara posterior muestra un porcentaje de desgaste minoritario que se presenta en las 50 y 200 horas en su parte inferior Tabla No. 43.

4.2. Comprobación y análisis del comportamiento del material en los componentes del inyector

4.2.1. Peso

Las mediciones de peso de los componentes del inyector Denso en contacto con mezcla combustible B5, se realizó en la balanza analítica de cuatro décimas de precisión.

A. Portatobera



Figura No. 79. Portatobera

Tabla No. 43.

Desgaste de la portatobera

Descripción del elemento	0 0	50 2000	100 4000	150 6000	200 8000	Horas Km
Portatobera	23,6655	23,5231	23,5056	23,4820	23,4535	gramos

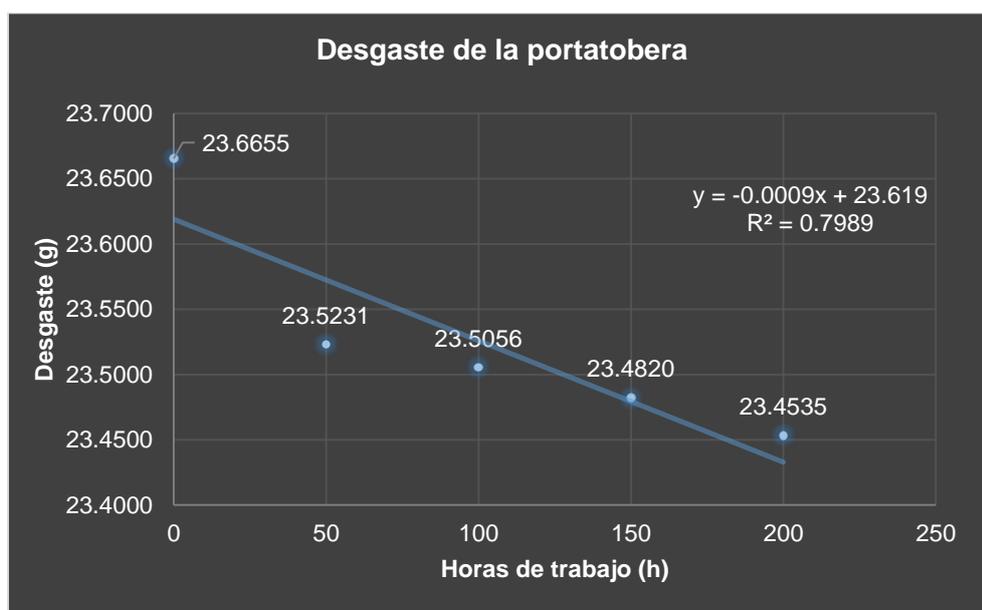


Figura No. 80. Desgaste de la portatobera

La Figura No. 80 muestra el coeficiente de determinación de la portatobera, presenta un valor $R^2 = 0.7989$. El promedio de desgaste es de 0,0530 gr. El punto más alto se visualiza entre las 0 y 50 horas es decir entre 0 y 2000 Km estimados con 0.1424 gr de desgaste Tabla No. 44.

Tabla No. 44.

Estimación de desgaste de la portatobera

Desgaste	Horas	Kilómetros
21.369	2500	100000
22.719	1000	40000
22.809	900	36000
22.899	800	32000
22.989	700	28000
23.079	600	24000
23.169	500	20000
23.259	400	16000
23.349	300	12000

Con ayuda de la línea de tendencia y su ecuación se podrá realizar una aproximación para más horas de trabajo como se aprecia en las tablas de estimación de cada uno de los componentes del inyector.

La aproximación en 2500 horas de trabajo o 100000 km estimados indica que existiría un desgaste de 2.2965 gr. Cuando supere los 100000 km o presente fallas, se recomienda realizar un mantenimiento preventivo en el inyector Tabla No. 45.

B. Tobera



Figura No. 81. Tobera

Tabla No. 45.

Desgaste de la tobera

Descripción del elemento	0	50	100	150	200	Horas
	0	2000	4000	6000	8000	Km
Tobera	22,7688	22,7208	22,6991	22,6858	22,6840	gramos



Figura No. 82. Desgaste de la tobera

La Figura No. 82 muestra el coeficiente de determinación de la tobera, presenta un valor $R^2 = 0.8474$. El promedio de desgaste es de 0,0212 gr. El punto más alto se visualiza entre las 0 y 50 horas es decir entre 0 y 2000 Km estimados con 0.0480 gr de desgaste Tabla No. 46.

Tabla No. 46.

Estimación de desgaste de la tobera

Desgaste	Horas	Kilómetros
21.753	2500	100000
22.353	1000	40000
22.393	900	36000
22.433	800	32000
22.473	700	28000
22.513	600	24000
22.553	500	20000
22.593	400	16000
22.633	300	12000

La aproximación en 2500 horas de trabajo o 100000 km estimados indica que existiría un desgaste de 1.0158 gr. Cuando supere los 100000 km o presente fallas, se recomienda realizar un mantenimiento preventivo en el inyector Tabla No. 47.

C. Rotor



Figura No. 83. Rotor

Tabla No. 47.

Desgaste del rotor

Descripción del elemento	0 0	50 2000	100 4000	150 6000	200 8000	Horas Km
Rotor	10,3683	10,3536	10,3520	10,3454	10,3426	gramos

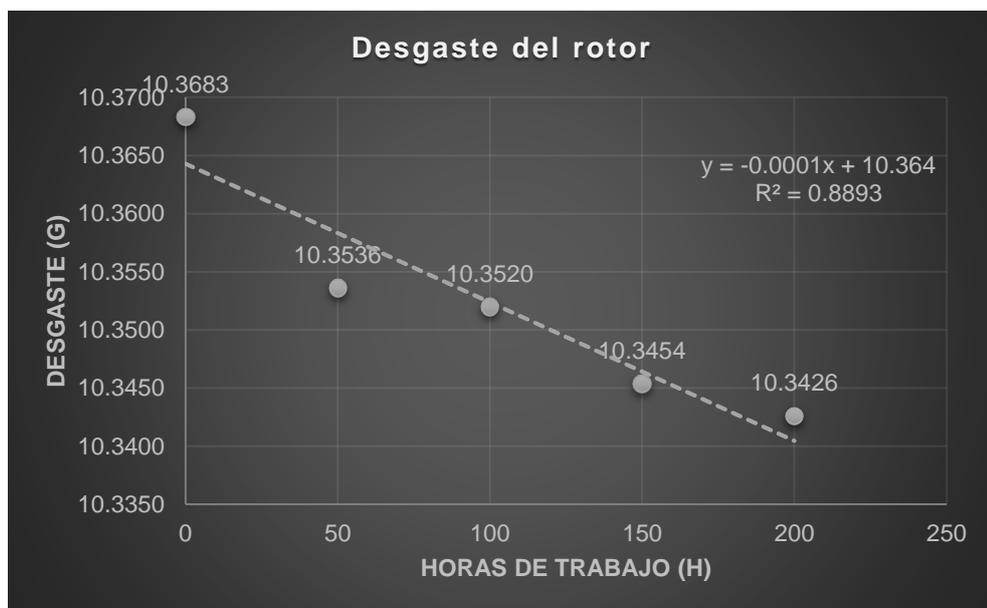


Figura No. 84. Desgaste del rotor

La Figura No. 84 muestra el coeficiente de determinación del rotor, presenta un valor $R^2 = 0.8893$. El promedio de desgaste es de 0,0064 gr. El punto más alto se visualiza entre las 0 y 50 horas es decir entre 0 y 2000 Km estimados con 0.0147 gr de desgaste Tabla No. 48.

Tabla No. 48.

Estimación de desgaste del rotor

Desgaste	Horas	Kilómetros
10.114	2500	100000
10.264	1000	40000
10.274	900	36000
10.284	800	32000
10.294	700	28000
10.304	600	24000
10.314	500	20000
10.324	400	16000
10.334	300	12000

La aproximación en 2500 horas de trabajo o 100000 km estimados indica que existiría un desgaste de 0.2543 gr. Cuando supere los 100000 km o presente fallas, se recomienda realizar un mantenimiento preventivo en el inyector Tabla No. 49.

D. Varilla de empuje



Figura No. 85. Varilla de empuje

Tabla No. 49.

Desgaste de la varilla de empuje

Descripción del elemento	0	50	100	150	200	Horas Km
	0	2000	4000	6000	8000	gramos
Varilla de empuje	1,6749	1,6735	1,6723	1,6690	1,6679	

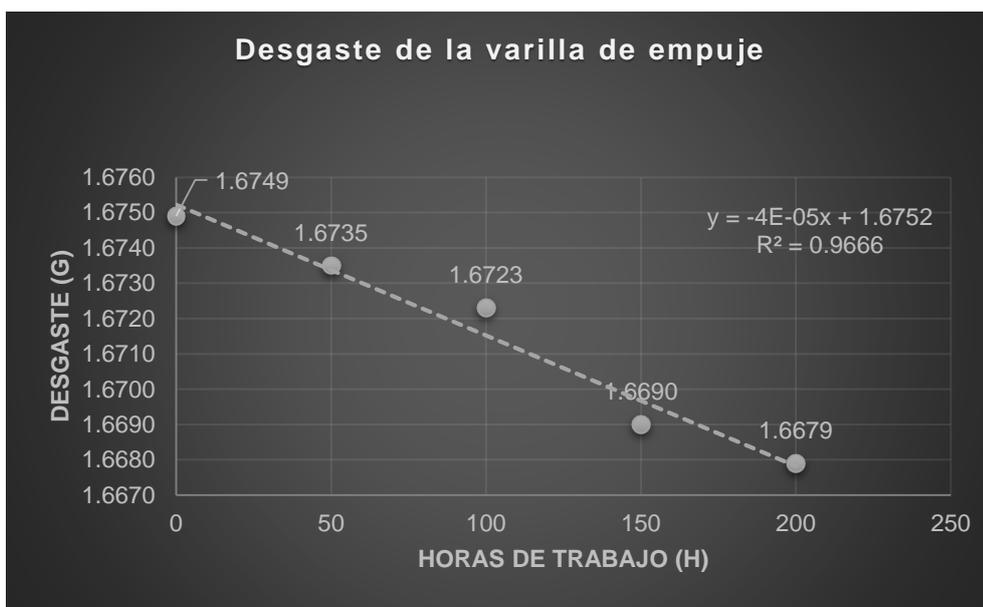


Figura No. 86. Desgaste de la varilla de empuje

La Figura No. 86 muestra el coeficiente de determinación de la varilla de empuje presenta un valor $R^2 = 0.9666$. El promedio de desgaste es de 0,0018 gr. El punto más alto se visualiza entre las 100 y 150 horas es decir entre 4000 y 6000 Km estimados con 0.033 gr de desgaste Tabla No. 50.

Tabla No. 50.

Estimación de desgaste de la varilla de empuje

Desgaste	Horas	Kilómetros
1.5752	2500	100000
1.6352	1000	40000
1.6392	900	36000
1.6432	800	32000
1.6472	700	28000
1.6512	600	24000
1.6552	500	20000
1.6592	400	16000
1.6632	300	12000

La aproximación en 2500 horas de trabajo o 100000 km estimados indica que existiría un desgaste de 0.0997 gr. Cuando supere los 100000 km o presente fallas, se recomienda realizar un mantenimiento preventivo en el inyector Tabla No. 51.

E. Aguja



Figura No. 87. Aguja

Tabla No. 51.

Desgaste de la aguja

Descripción del elemento	0	50	100	150	200	Horas
	0	2000	4000	6000	8000	Km
Aguja	3,3203	3,3183	3,3181	3,3180	3,3129	gramos

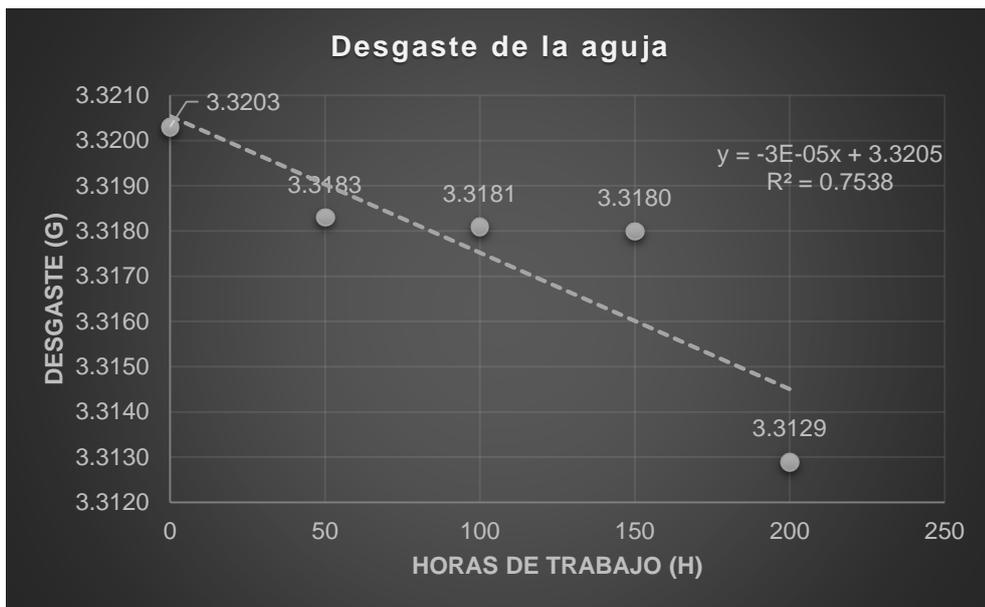


Figura No. 88. Desgaste de la aguja

La Figura No. 88 muestra el coeficiente de determinación de la aguja, presenta un valor $R^2 = 0.7538$. El promedio de desgaste es de 0,0019 gr. El punto más alto se visualiza entre las 150 y 2000 horas es decir entre 6000 y 8000 Km estimados con 0.0051 gr de desgaste Tabla No. 52.

Tabla No. 52.

Estimación de desgaste de la aguja

Desgaste	Horas	Kilómetros
3.2455	2500	100000
3.2905	1000	40000
3.2935	900	36000
3.2965	800	32000
3.2995	700	28000
3.3025	600	24000
3.3055	500	20000
3.3085	400	16000
3.3115	300	12000

La aproximación en 2500 horas de trabajo o 100000 km estimados indica que existiría un desgaste de 0.0748 gr. Cuando supere los 100000 km o presente fallas, se recomienda realizar un mantenimiento preventivo en el inyector Tabla No. 53.

F. Resorte



Figura No. 89. Resorte

Tabla No. 53.

Desgaste del resorte

Descripción del elemento	0 0	50 2000	100 4000	150 6000	200 8000	Horas Km
Resorte	1,6050	1,6033	1,5824	1,5818	1,5800	gramos

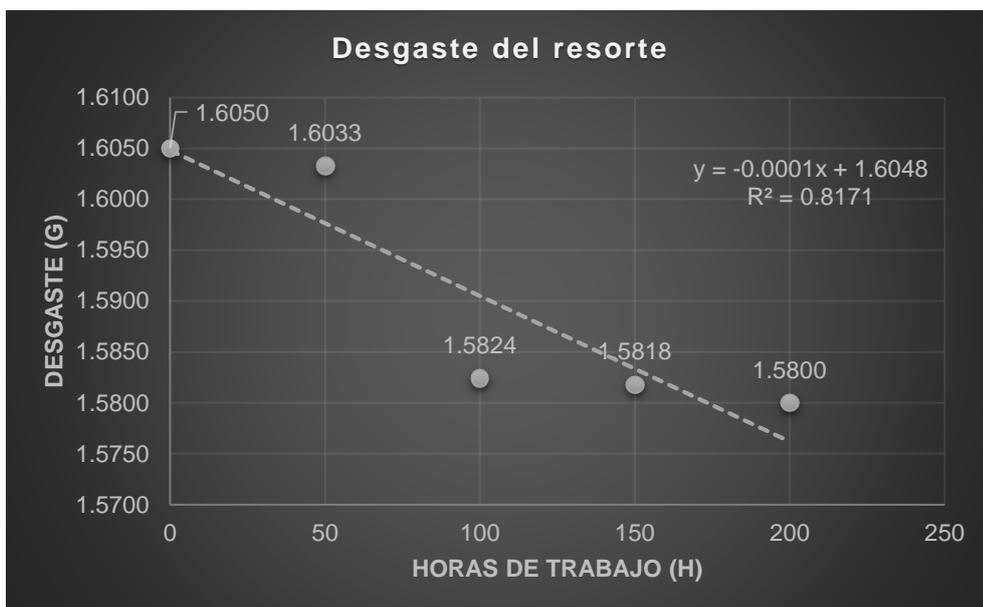


Figura No. 90. Desgaste del resorte

La Figura No. 90 muestra el coeficiente de determinación del resorte, presenta un valor $R^2 = 0.8171$. El promedio de desgaste es de 0,0062 gr. El punto más alto se visualiza entre las 50 y 100 horas es decir entre 2000 y 4000 Km estimados con 0.0209 gr de desgaste Tabla No. 54.

Tabla No. 54.**Estimación de desgaste del resorte**

Desgaste	Horas	Kilómetros
1.3548	2500	100000
1.5048	1000	40000
1.5148	900	36000
1.5248	800	32000
1.5348	700	28000
1.5448	600	24000
1.5548	500	20000
1.5648	400	16000
1.5748	300	12000

La aproximación en 2500 horas de trabajo o 100000 km estimados indica que existiría un desgaste de 0.2502 gr. Cuando supere los 100000 km o presente fallas, se recomienda realizar un mantenimiento preventivo en el inyector Tabla No. 55.

G. Guía I**Figura No. 91. Guía I****Tabla No. 55.****Desgaste de la guía I**

Descripción del elemento	0	50	100	150	200	Horas
	0	2000	4000	6000	8000	Km
Guía II	0,2762	0,2761	0,2759	0,2758	0,2749	gramos

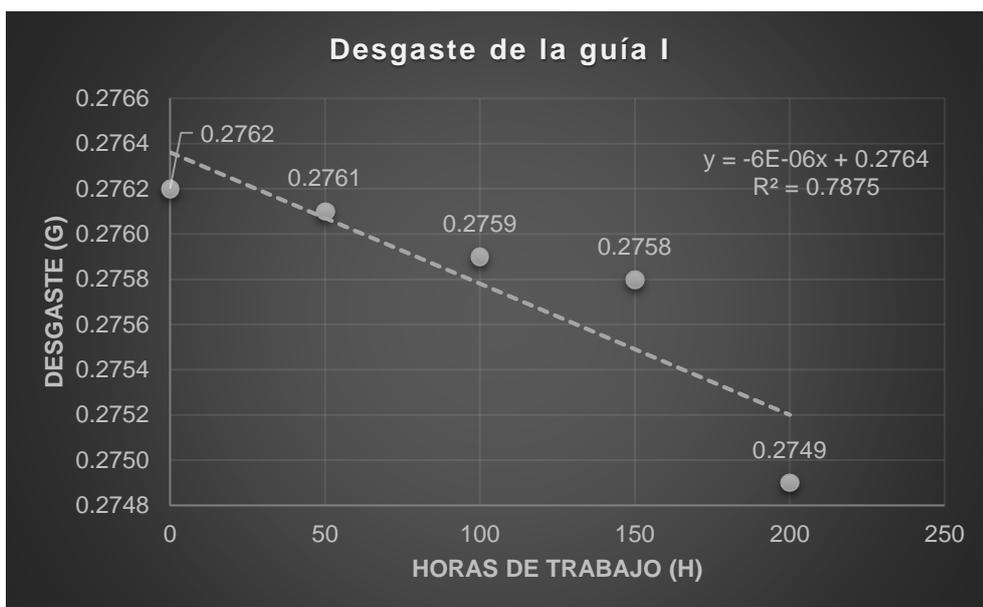


Figura No. 92. Desgaste de la guía I

La Figura No. 92 muestra el coeficiente de determinación de la guía I, presenta un valor $R^2 = 0.7875$. El promedio de desgaste es de 0,0003 gr. El punto más alto se visualiza entre las 0 y 50 horas es decir entre 0 y 2000 Km estimados con 0.1424 gr de desgaste Tabla No. 56.

Tabla No. 56.

Estimación de desgaste de la guía I

Desgaste	Horas	Kilómetros
0.2614	2500	100000
0.2704	1000	40000
0.271	900	36000
0.2716	800	32000
0.2722	700	28000
0.2728	600	24000
0.2734	500	20000
0.274	400	16000
0.2746	300	12000

La aproximación en 2500 horas de trabajo o 100000 km estimados indica que existiría un desgaste de 0.0148 gr. Cuando supere los 100000 km o presente fallas, se recomienda realizar un mantenimiento preventivo en el inyector Tabla No. 57.

H. Guía II



Figura No. 93. Guía II

Tabla No. 57.

Desgaste de la guía II

Descripción del elemento	0 0	50 2000	100 4000	150 6000	200 8000	Horas Km
Guía II	0,2762	0,2761	0,2759	0,2758	0,2749	gramos

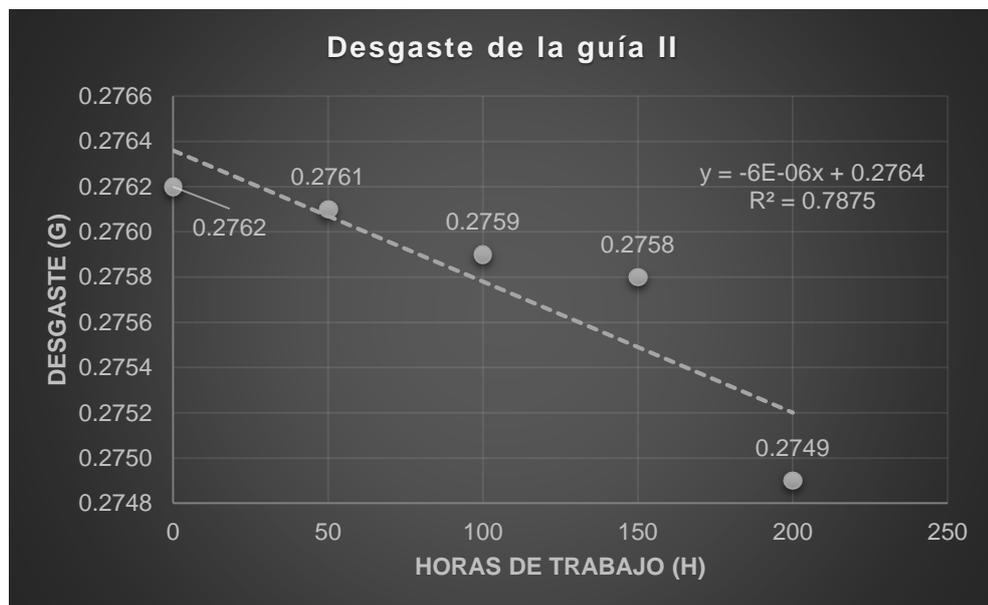


Figura No. 94. Desgaste de la guía II

La Figura No. 94 muestra el coeficiente de determinación de la guía II, presenta un valor $R^2 = 0.7875$. El promedio de desgaste es de 0,0003 gr. El punto más alto se visualiza entre las 150 y 200 horas es decir entre 6000 y 8000 Km estimados con 0.0148 gr de desgaste Tabla No. 58.

Tabla No. 58.**Estimación de desgaste de la guía II**

Desgaste	Horas	Kilómetros
0.2614	2500	100000
0.2704	1000	40000
0.271	900	36000
0.2716	800	32000
0.2722	700	28000
0.2728	600	24000
0.2734	500	20000
0.274	400	16000
0.2746	300	12000

La aproximación en 2500 horas de trabajo o 100000 km estimados indica que existiría un desgaste de 0.0148 gr. Cuando supere los 100000 km o presente fallas, se recomienda realizar un mantenimiento preventivo en el inyector Tabla No. 59.

I. Arandela de presión inferior**Figura No. 95. Arandela de presión inferior****Tabla No. 59.****Desgaste de la arandela de presión inferior**

Descripción del elemento	0	50	100	150	200	Horas
	0	2000	4000	6000	8000	Km
Arandela de presión inferior	0,6627	0,6622	0,6612	0,6607	0,6597	gramos

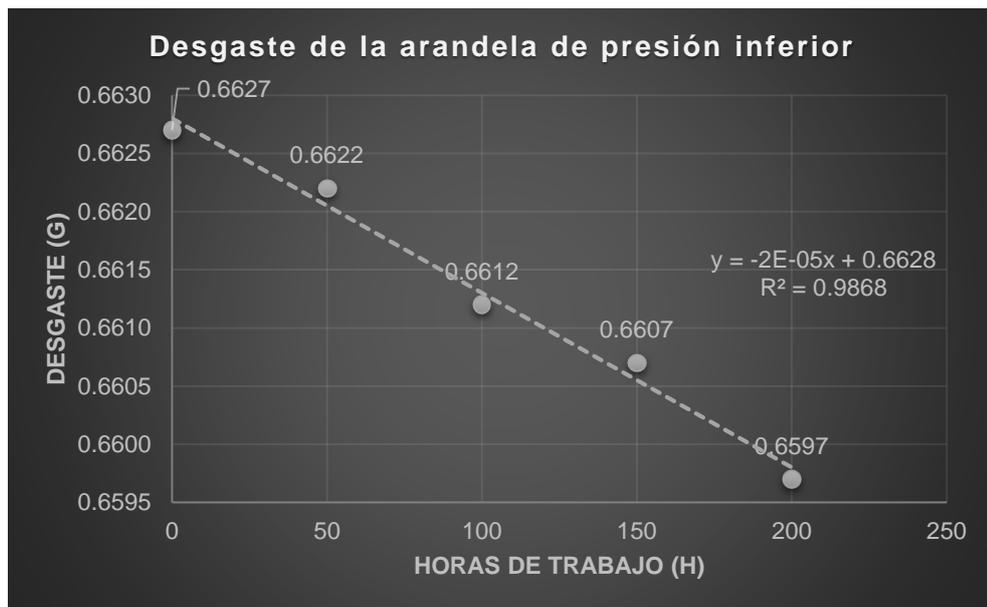


Figura No. 96. Desgaste de la arandela de presión inferior

La Figura No. 96 muestra el coeficiente de determinación de la arandela de presión inferior, presenta un valor $R^2 = 0.9868$. El promedio de desgaste es de 0,0008 gr. El punto más alto se visualiza entre las 50 – 100 y 150 - 200 horas es decir entre 2000 - 4000 y 6000 - 8000 Km respectivamente con 0.001gr de desgaste Tabla No. 60.

Tabla No. 60.

Estimación de desgaste de la arandela de presión inferior

Desgaste	Horas	Kilómetros
0.6128	2500	100000
0.6428	1000	40000
0.6448	900	36000
0.6468	800	32000
0.6488	700	28000
0.6508	600	24000
0.6528	500	20000
0.6548	400	16000
0.6568	300	12000

La aproximación en 2500 horas de trabajo o 100000 km estimados indica que existiría un desgaste de 0.0499 gr. Cuando supere los 100000 km o presente fallas, se recomienda realizar un mantenimiento preventivo en el inyector Tabla No. 61.

J. Arandela de presión superior



Figura No. 97. Arandela de presión superior

Tabla No. 61.

Desgaste de la arandela de presión superior

Descripción del elemento	0 0	50 2000	100 4000	150 6000	200 8000	Horas Km
Arandela de presión superior	0,3416	0,3316	0,3266	0,3213	0,3202	gramos

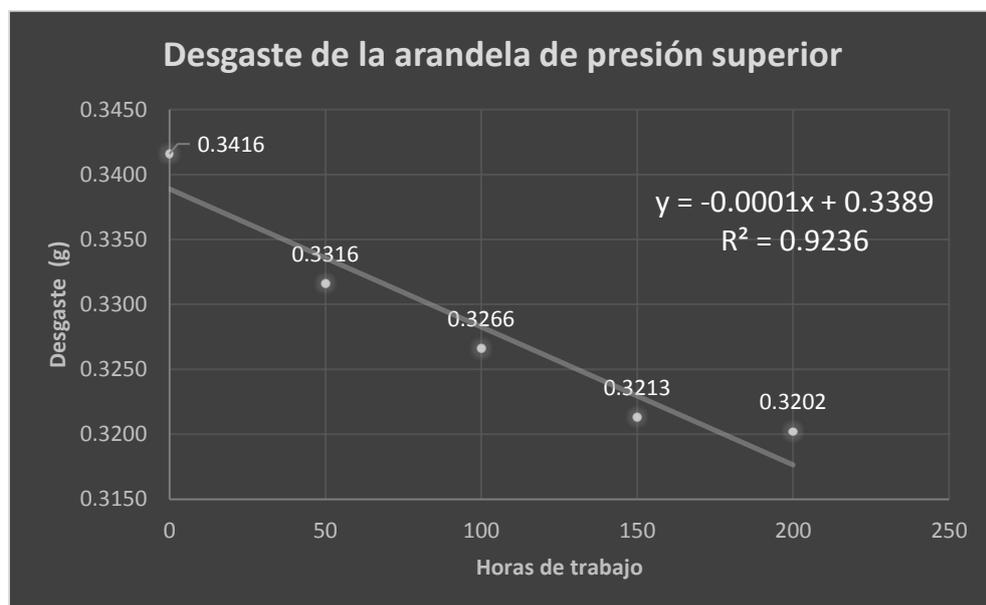


Figura No. 98. Desgaste de la arandela de presión superior

La Figura No. 98 muestra el coeficiente de determinación de la arandela de presión superior, presenta un valor $R^2 = 0.9236$. El promedio de desgaste es de 0,0054 gr. El punto más alto se visualiza entre las 100 y 150 horas es

decir entre 6000 y 8000 Km estimados con 0.0054 gr de desgaste Tabla No. 62.

Tabla No. 62.

Estimación de desgaste de la arandela de presión superior

Desgaste	Horas	Kilómetros
0.0889	2500	100000
0.2389	1000	40000
0.2489	900	36000
0.2589	800	32000
0.2689	700	28000
0.2789	600	24000
0.2889	500	20000
0.2989	400	16000
0.3089	300	12000

La aproximación en 2500 horas de trabajo o 100000 km estimados indica que existiría un desgaste de 0.2527 gr. Cuando supere los 100000 km o presente fallas, se recomienda realizar un mantenimiento preventivo en el inyector Tabla No. 63.

Se puede apreciar en los valores una gradiente descendente en relación a los componentes de los inyectores que más han trabajado, al igual que en los componentes de la bomba de alta presión, los dígitos cambian a partir de la segunda décima, al contrario que en la bomba de alta presión estos valores si influyen en el funcionamiento del inyector tanto es así que el pistón de mando que es uno de los componentes internos del inyector, no se analizó, debido a que el pistón de mando del inyector de 200 horas se trabó, posteriormente se analizaron los resultados en las pruebas mecánicas de funcionamiento del inyector

4.2.2. Desgaste

La observación del comportamiento de los materiales de los componentes internos de inyector se realizó en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE extensión Latacunga, en los laboratorios de química, cada inyector fue

verificado en 0, 50, 100, 150 y 200 horas de trabajo con la mezcla combustible B5.

Tabla No. 63.

Comprobación del material en la bomba de succión



La falta de lubricidad es notoria en las 200 horas, porque existió rozamiento en las horas de trabajo. La parte con mayor visibilidad son comparadas a las 50 y 200 horas Tabla No. 64.

Tabla No. 64.

Comprobación del material la arandelas de ajuste de presión



EL impacto de la lubricidad en la mezcla combustible ecológica no es notorio en la cara inferior de las arandelas, no existe mayor fricción entre material Tabla No. 65.

Tabla No. 65.**Comprobación del material en la varilla de empuje**

Un notorio aumento de rozamiento se evidencia en las 200 horas de trabajo con pigmentos negros en el vástago de la varilla de empuje Tabla No. 66.

Tabla No. 66.**Comprobación del material rotor, cara superior**

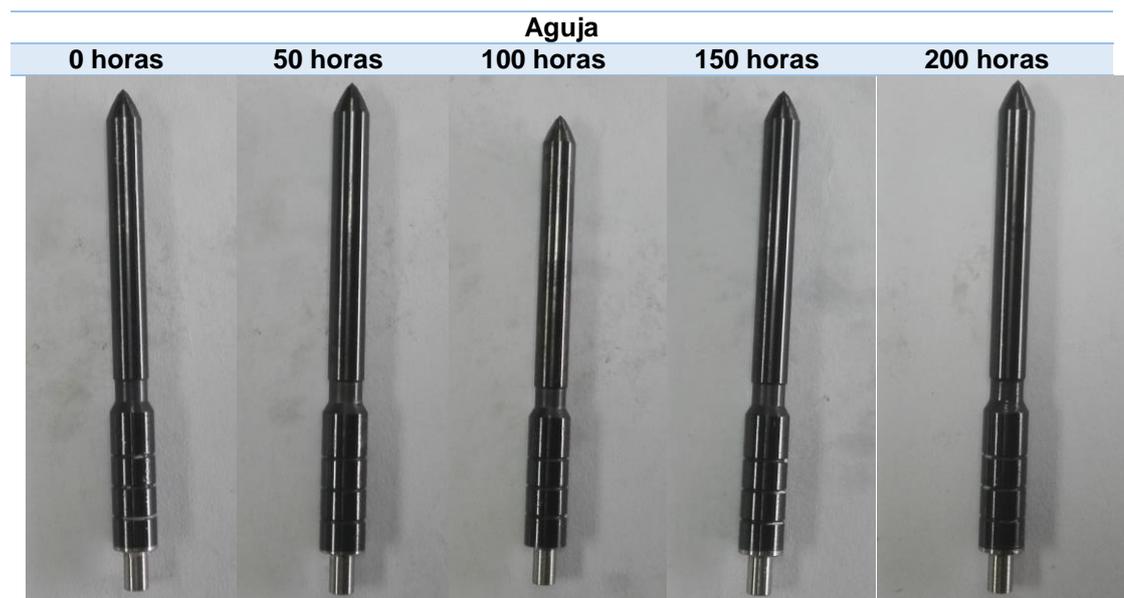
El rotor con su movimiento axial comprende un desgaste en su parte superior Tabla No. 67.

Tabla No. 67.

Comprobación del material rotor, cara inferior

El Rotor en su parte inferior tiene un mayor desgaste Tabla No. 68.

Tabla No. 68.

Comprobación del material de la aguja

La aguja es el componente con mayor fricción y tiempo de exposición con la mezcla combustible B5, se necesita una aproximación por medio de un microscópico que se puede divisar en el punto 4.3.

4.3. Pruebas de funcionamiento mecánico del inyector

Las pruebas de inductancia, resistencia y carga en arranque máxima, media y mínima fueron realizadas en una empresa especialista en motores

diésel, cuenta con laboratorios para pruebas de todo tipo de inyectores diésel, turbos y demás. El banco de pruebas de inyectores diésel utilizado para las pruebas se visualiza en la Figura No. 99.



Figura No. 99. Banco de pruebas D52R ZAPP

4.3.1. Inductancia

La Tabla No. 70 indica los valores operacionales que trabajó el comprobador de inyectores para las pruebas de inductancia y resistencia en los inyectores.

Al aplicar una tensión a la bobina, debido a su inductancia, provoca un aumento progresivo de la intensidad que atraviesa al circuito. Cuanto mayor sea la inductancia de la bobina más tiempo tarda en aumentar la intensidad. Esta inductancia depende del material del núcleo de las espiras y el material de la bobina,

Los Strokes son la unidad de número de inyecciones.

Tabla No. 69.

Valores operacionales para las pruebas de inductancia y resistencia

Parámetros	Valor	Unidad
Ciclos	2000	Strokes
Presión	170	Bar
Pulso	955	µseg

La Tabla No. 71 muestra los resultados obtenidos en la prueba de inductancia en los cinco inyectores.

Tabla No. 70.

Inductancia

INDUCTANCIA (μH)					
MEDICIONES	INYECTOR				
	0Hs	50Hs	100Hs	150Hs	200Hs
Mínimo	311,87	308,24	298,06	300,49	9,44
Medio	313,74	309,7	301,82	303,43	9,44
Máximo	316,11	311,83	305,36	307,92	9,44

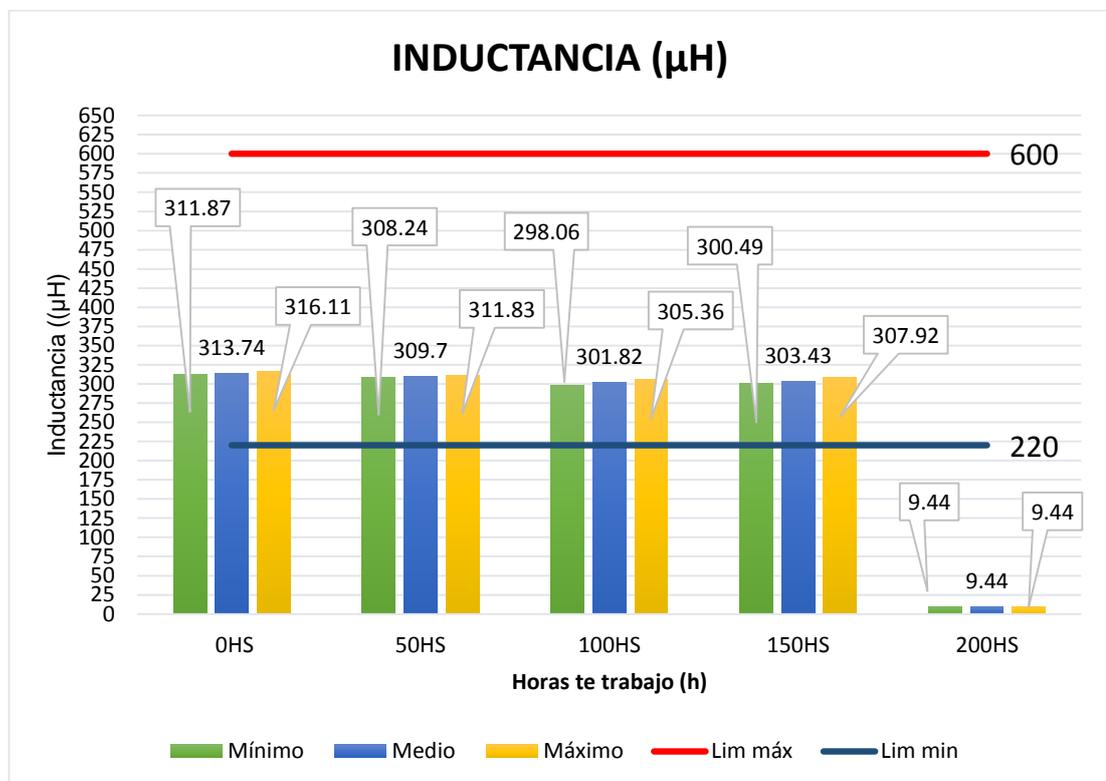


Figura No. 100. Inductancia

En la prueba de inductancia que se realizó a los inyectores, se observa que los inyectores correspondientes a 0, 50, 100 y 150 horas de trabajo presentan valores dentro de los límites máximo y mínimo de 600 a 200 μH respectivamente, en el caso del inyector con 200 horas de trabajo el valor de inductancia que muestra es de 9,44 μH , este dato indica que el inyector ha sido afectado por la mezcla combustible.

4.3.2. Resistencia

La Tabla No. 72 presenta los resultados obtenidos en la prueba de resistencia en los cinco inyectores.

Tabla No. 71.

Resistencia (Ω)

RESISTENCIA (Ω)					
MEDICIONES	INYECTOR				
	0Hs	50Hs	100Hs	150Hs	200Hs
Mínimo	0,54	0,47	0,47	0,48	0,24
Medio	0,55	0,47	0,48	0,48	0,25
Máximo	0,56	0,48	0,48	0,48	0,27

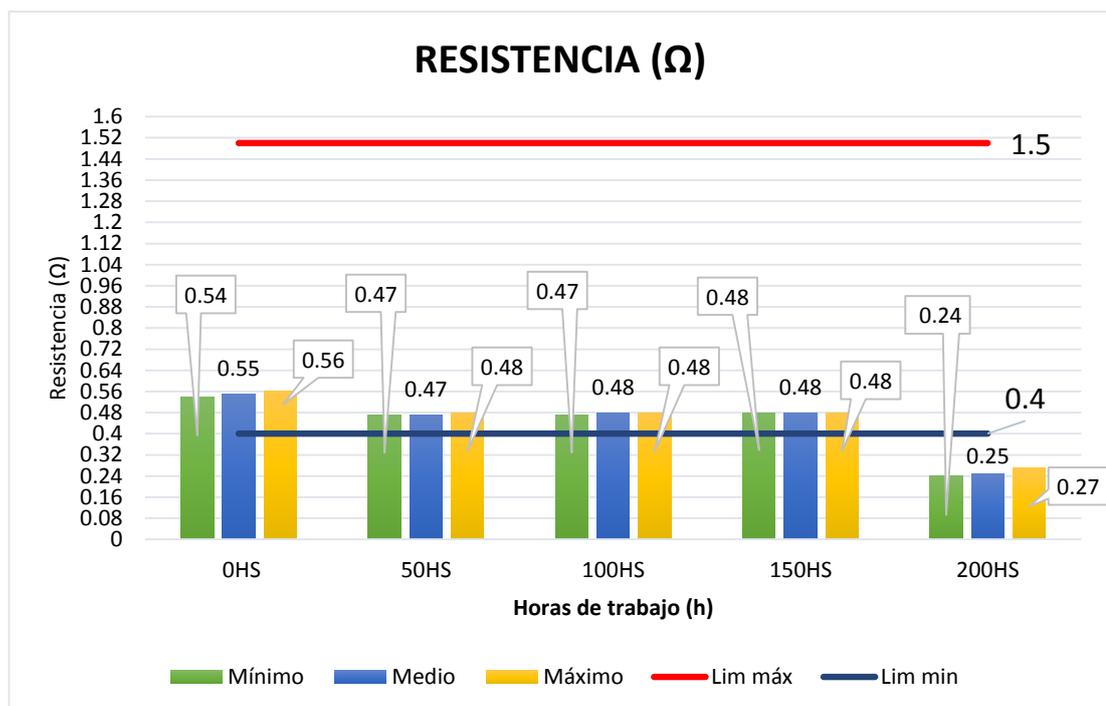


Figura No. 101. Resistencia

Al igual que en la prueba de inductancia los valores de los inyectores de 0, 50, 100 y 150 horas de trabajo constan con valores dentro de los límites de máximo y mínimo de 1,5 a 0,4 Ω respectivamente de la prueba de resistencia, el inyector con 200 horas de trabajo presenta en su valor más alto 0,27 Ω , el valor denota que este inyector sufrió daños que probablemente se reflejó en su funcionamiento.

4.3.3. Caudal de entrega y retorno de combustible

A. Máxima carga

La Tabla No. 73 indica los valores operacionales con que trabajó el comprobador de inyectores para la inductancia y resistencia.

Tabla No. 72.

Valores operacionales de entrega y retorno de combustibles en máxima carga

Parámetros	Valor	Unidad
Ciclos	210	Strokes
Presión	1600	Bar
Pulso	955	μseg

Tabla No. 73.

Retorno de combustible en máxima carga

RETORNO DE COMBUSTIBLE EN MÁXIMA CARGA (mm ³ /STRK)					
MEDICIONES	INYECTOR				
	0Hs	50Hs	100Hs	150Hs	200Hs
Mínimo	158,25	112,09	85,72	92,31	145,06
Medio	158,25	112,09	85,72	92,31	145,06
Máximo	158,25	112,09	85,72	92,31	145,06

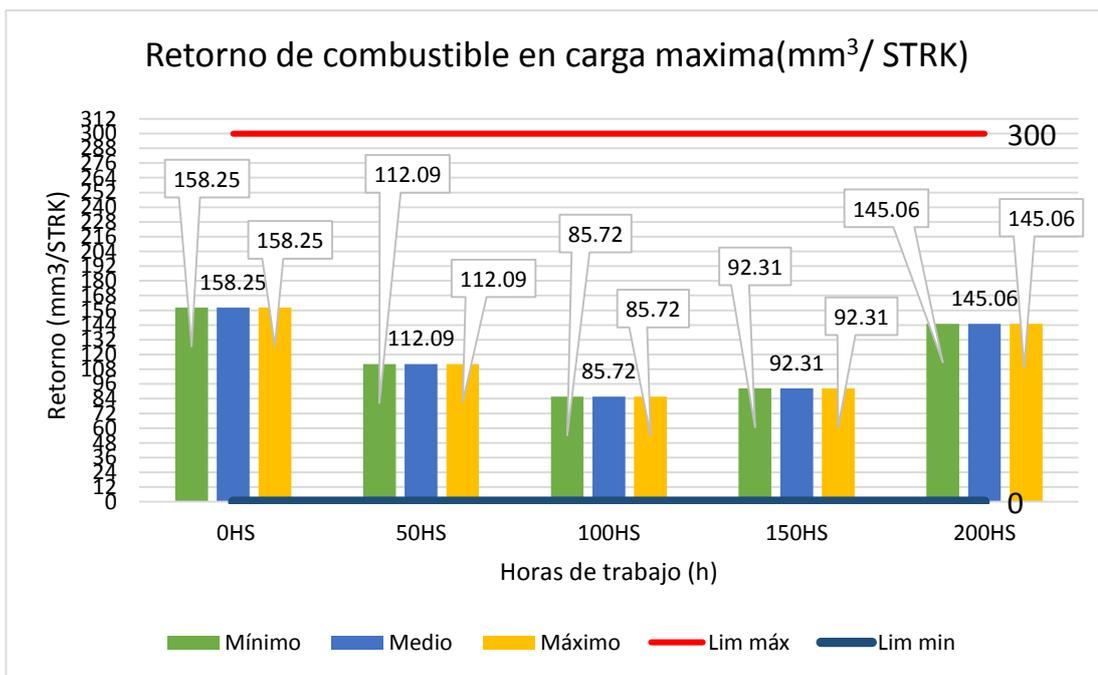


Figura No. 102. Retorno de combustible en máxima carga

En esta prueba no existen novedades, todos presentan óptimos resultados indicando un buen funcionamiento con valores dentro de los límites de máximo y mínimo de 300 a 0 (mm^3/STRK) respectivamente de la prueba de resistencia Figura No. 103..

Tabla No. 74.

Entrega de combustible en máxima carga

ENTREGA DE COMBUSTIBLE EN MÁXIMA CARGA (mm^3/STRK)					
MEDICIONES	INYECTOR				
	0Hs	50Hs	100Hs	150Hs	200Hs
Mínimo	85,72	79,12	118,68	79,12	13,19
Medio	85,72	79,12	118,68	79,12	13,19
Máximo	85,72	79,12	118,68	79,12	13,19

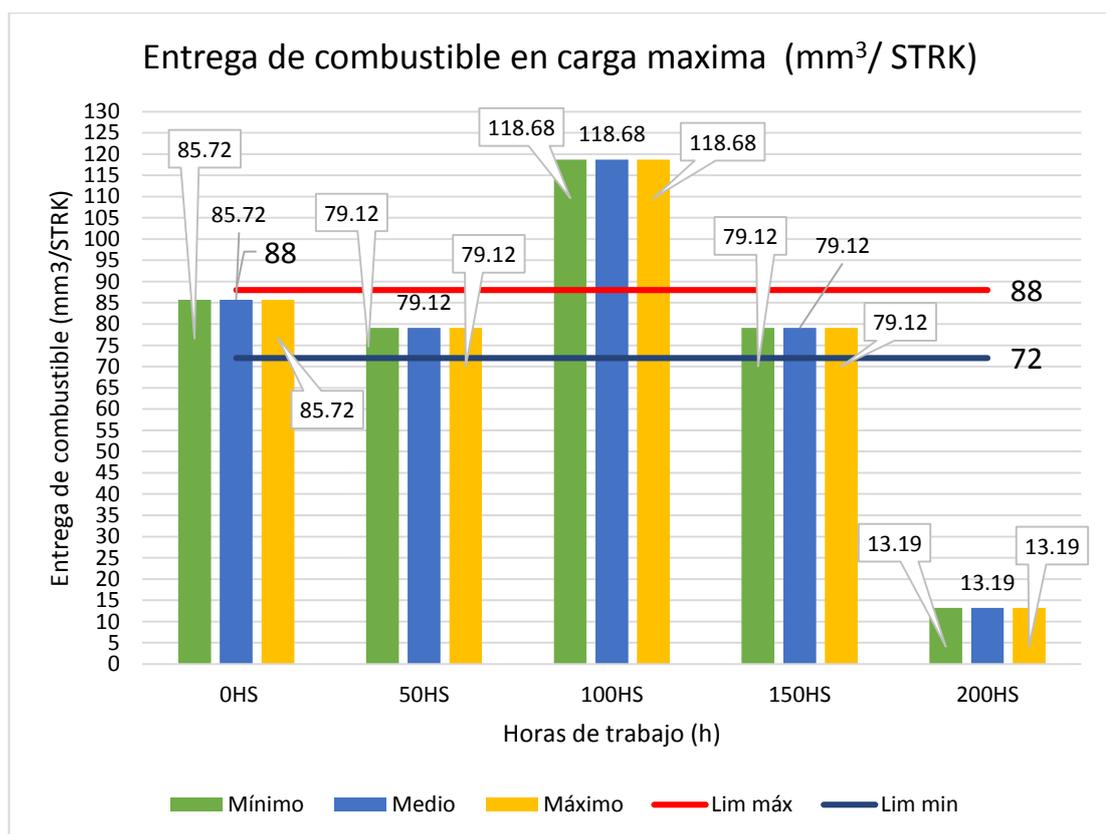


Figura No. 104. Entrega de combustible en máxima carga

En la prueba de entrega de combustible en máxima carga los inyectores de 0, 50, 150 horas cumplen con los valores dentro de los límites máximo y mínimo que son 88 a 72 (mm^3/STRK) respectivamente, sin embargo el

inyector con 100 horas de trabajo sobrepasa el límite máximo con un valor de 118,68 (mm^3/STRK) y el inyector de 200 horas de trabajo se encuentra por debajo del límite mínimo con un valor de 13,19 (mm^3/STRK). Estos inyectores presentan daños en sus componentes Figura No. 105.

B. Media carga

La Tabla No. 76 muestra los valores operacionales que trabajó el banco de inyectores para la prueba de caudal de entrega de combustible en media carga.

Tabla No. 75.

Valores operacionales de entrega y retorno de combustibles en media carga A

Parámetros	Valor	Unidad
Ciclos	1000	Strokes
Presión	800	Bar
Pulso	735	μseg

Tabla No. 76.

Entrega de combustible en media carga A

ENTREGA DE COMBUSTIBLE EN MEDIA CARGA A (mm^3/STRK)					
MEDICIONES	INYECTOR				
	0Hs	50Hs	100Hs	150Hs	200Hs
Mínimo	25,32	24,53	22,95	21,52	0,16
Medio	25,32	24,53	22,95	21,52	0,16
Máximo	25,32	24,53	22,95	21,52	0,16

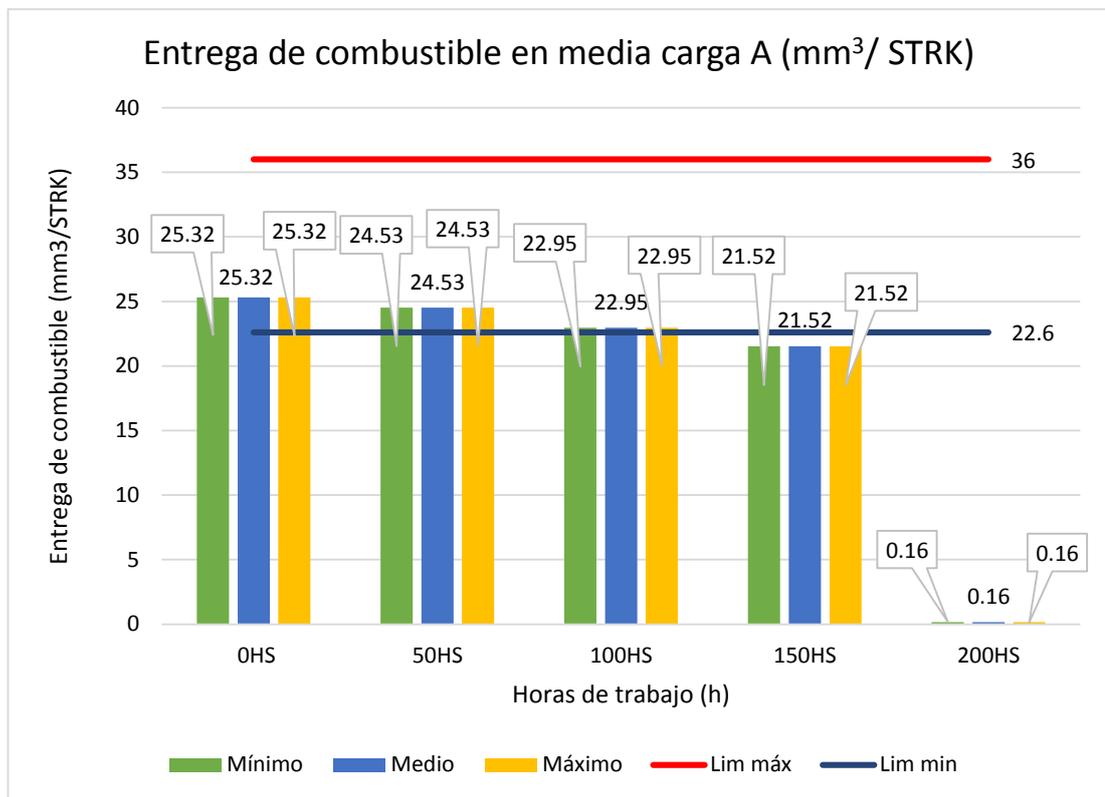


Figura No. 106. Entrega de combustible en media carga A

En esta prueba los inyectores de 0, 50 y 100 horas de trabajo presentan valores dentro de los límites máximo y mínimo que son de 36 a 22 (mm^3/STRK), el inyector de 150 horas de trabajo tiene un valor de 21,52 (mm^3/STRK) cercano al límite mínimo, considerado aceptable, pero el inyector con 200 horas de trabajo muestra un inaceptable valor de 0,16 (mm^3/STRK) demasiado bajo para un óptimo funcionamiento del inyector.

La Tabla No. 78 expone los valores operacionales que trabajó el banco de pruebas de inyectores para la prueba de caudal de entrega de combustible en media carga.

Tabla No. 77.

Valores operacionales de entrega y retorno de combustibles en media carga B

Parámetros	Valor	Unidad
Ciclos	2000	Strokes
Presión	800	Bar
Pulso	400	μseg

Tabla No. 78.

Entrega de combustible en media carga B

ENTREGA DE COMBUSTIBLE EN MEDIA CARGA B (mm^3/STRK)					
MEDICIONES	INYECTOR				
	0Hs	50Hs	100Hs	150Hs	200Hs
Mínimo	2,46	2,46	2,27	1,95	0,01
Medio	2,46	2,46	2,27	1,95	0,01
Máximo	2,46	2,46	2,27	1,95	0,01

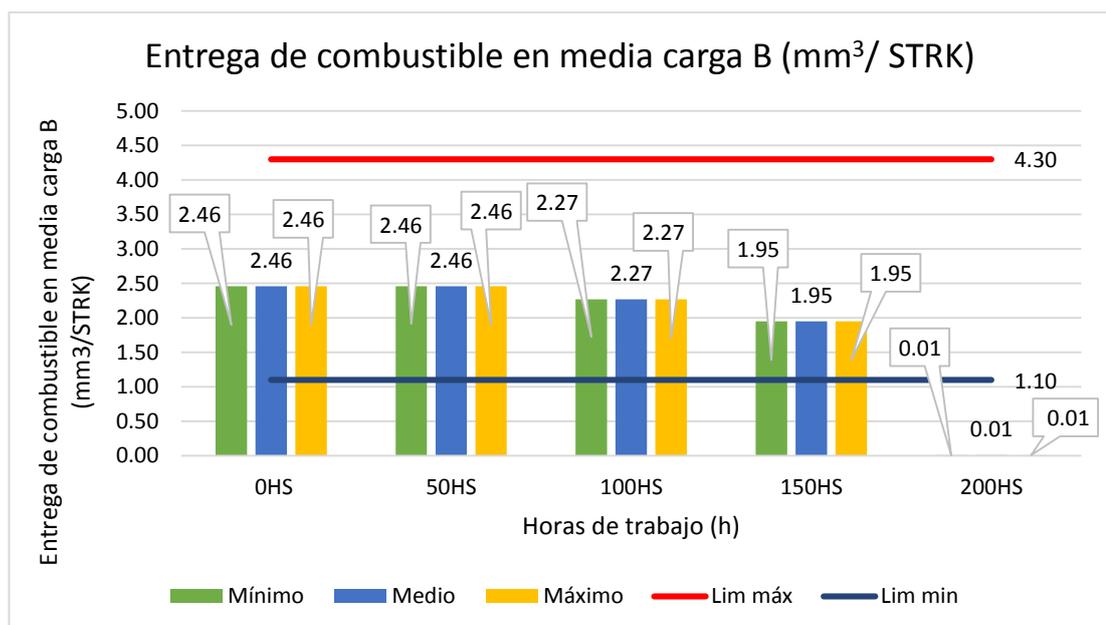


Figura No. 107. Entrega de combustible en media carga B

Con parámetros de operación diferentes del banco de pruebas de ciclo y pulsos de 2000 Strokes y 400 μseg respectivamente pero a media carga de presión 800 bar, se comprueba que el inyector de 200 horas de trabajo no presenta valores dentro de los límites máximo y mínimo de 4,3 a 1,3 (mm^3/STRK), respectivamente en la prueba de caudal de entrega de combustible en media carga.

C. Mínima carga

La Tabla No. 80 presenta los valores operacionales que trabajó el banco de pruebas de inyectores para la prueba de caudal de entrega de combustible en mínima carga.

Tabla No. 79.

Valores operacionales de entrega y retorno de combustibles en mínima carga

Parámetros	Valor	Unidad
Ciclos	2000	Strokes
Presión	290	Bar
Pulso	765	µseg

Tabla No. 80.

Entrega de combustible en mínima carga

ENTREGA DE COMBUSTIBLE EN MÍNIMA CARGA (mm^3/STRK)					
MEDICIONES	INYECTOR				
	0Hs	50Hs	100Hs	150Hs	200Hs
Mínimo	4,93	4,2	4,56	3,58	0,01
Medio	4,93	4,2	4,56	3,58	0,01
Máximo	4,93	4,2	4,56	3,58	0,01

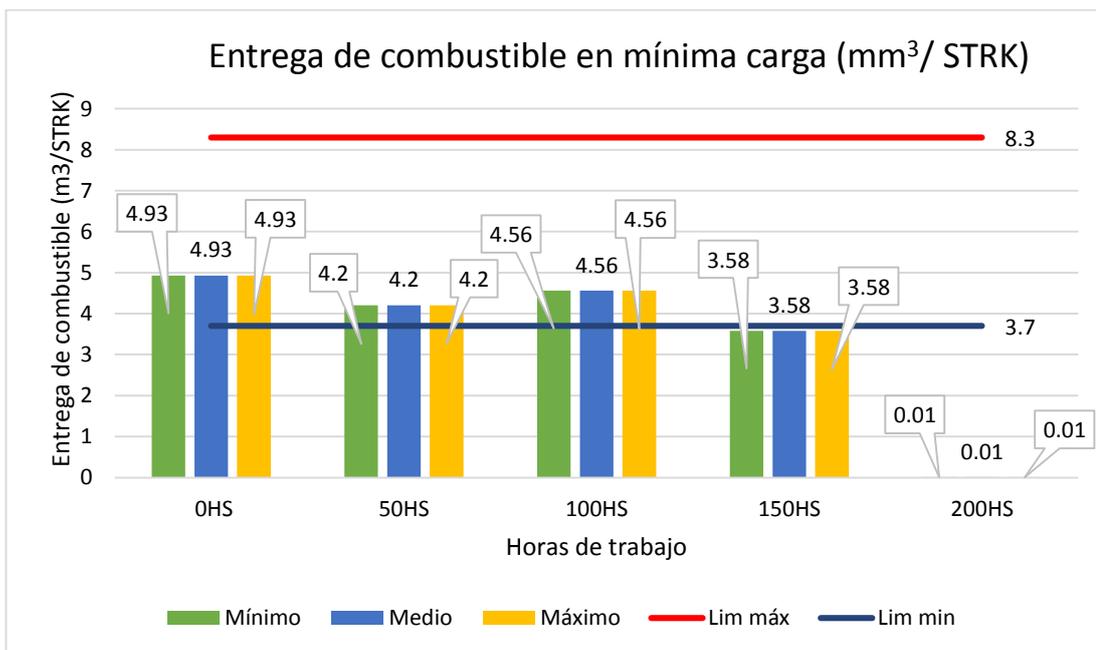


Figura No. 108. Entrega de combustible en mínima carga

En la prueba de caudal de entrega de combustible con mínima carga son dos inyectores que no se encuentran dentro de los límites máximo y mínimo de 8,3 a 3,7 (mm^3/STRK) respectivamente, estos son los inyectores con 150 y 200 horas de trabajo, se encuentran por debajo del límite mínimo, hay que tomar en cuenta que el inyector con 150 horas de trabajo presenta un valor de 3,58 (mm^3/STRK) cercano al límite mínimo considerándolo aceptable, el inyector con 200 horas de trabajo consta de un valor de 0,01 (mm^3/STRK) casi nulo, comprobando que es el inyector más afectado por el uso de la mezcla combustible B5.

4.4. Comprobación y análisis del comportamiento del material del inyector

El análisis del comportamiento del material, tanto en la aguja como en la tobera del inyector, se realizó en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, en los laboratorios de Metalurgia con un microscopio Meiji Techno a 100 micras de precisión.

El procedimiento para cada componente, no debe variar en distancia y luz de enfoque para determinar las diferencias y comportamiento de la mezcla combustible en cada período de trabajo.



Figura No. 109. Microscopio Meiji Techno

4.4.1. Comportamiento del material en la aguja del inyector

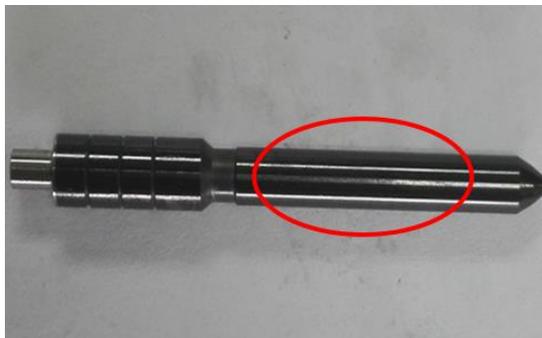
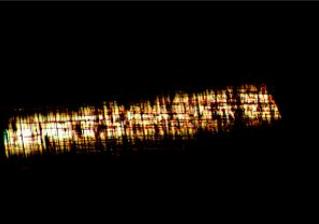


Figura No. 110. Aguja y del punto de verificación del microscópico

Tabla No. 81.

Visualización del comportamiento del material en la aguja del inyector

Tiempo de trabajo		
0 horas	50 horas	100 horas
		
150 horas	200 horas	
		

En la prueba de verificación del comportamiento del material de la aguja del inyector, al trabajar con mezcla combustible B5 en períodos de tiempo de 0, 50, 100, 150, 200 horas, por medio del microscopio calibrado a una medida de 100 micras, las agujas presentaron acumulación de agente corrosivo, se puede ver en la aguja que corresponde al inyector de 50 horas de trabajo con un color marrón. A medida que se realizaron las fotografías en los siguientes inyectores se aprecia que hay una capa corrosiva que opaca la visibilidad del material.

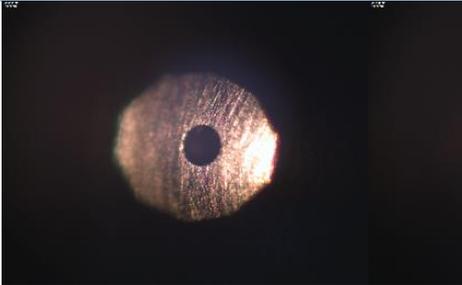
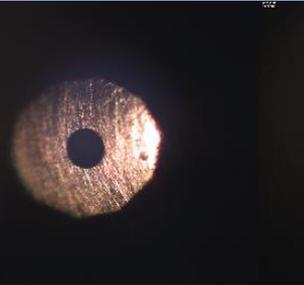
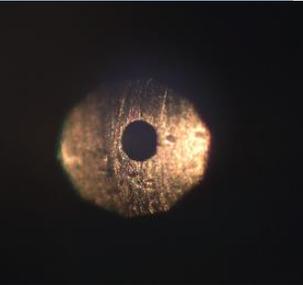
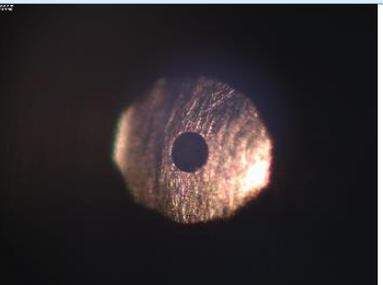
4.4.2. Comportamiento del material en la tobera del inyector



Figura No. 111. Sección de la tobera analizada con el microscopio

Tabla No. 82.

Visualización del comportamiento del material en la tobera

Tiempo de trabajo		
0 horas	50 horas	100 horas
		
150 horas	200 horas	
		

En los orificios de la tobera de los inyectores no se puede apreciar una muestra de desgaste, a diferencia de las agujas de los inyectores, las toberas

están fabricadas de un material más resistente; tanto en temperatura como en presiones elevadas. También es necesario mencionar que los agujeros están entre la punta del inyector y la base de la misma, de manera que es muy complejo tomar el interior dentro del agujero.

CAPÍTULO V

5. MARCO ADMINISTRATIVO

5.1. Recursos

Para el desarrollo del análisis del comportamiento de los materiales en la bomba de alta presión y los inyectores se consideró aspectos como: recursos humanos, tecnológicos y recursos materiales.

5.1.1. Recursos humanos

Los recursos humanos son importantes para la realización del proyecto de investigación titulado “ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LOS MATERIALES DE FABRICACIÓN DEL INYECTOR Y LA BOMBA DE ALTA PRESIÓN AL TRABAJAR CON MEZCLA COMBUSTIBLE OBTENIDO A PARTIR DEL ACEITE RECICLADO DE FRITURAS”.

Tabla No. 83.

Recursos Humanos

No	Nombre	Detalle
1	Acuña Santiago	Investigador
2	Morales Santiago	Investigador
3	PhD Marcos Gutiérrez	Director
4	Ing. Germán Erazo	Colaborador
5	Ing. Caterine Donoso	Colaboradora

El trabajo de la investigación fue realizado por: Byron Santiago Acuña Hidalgo y Santiago Javier Morales Izama, con la designación del tutor PhD Marcos Gutiérrez quien guió el proyecto en su inicio y finalización.

5.1.2. Recursos tecnológicos.

En el proyecto se utilizaron recursos tecnológicos en diferentes áreas, para realizar las pruebas de inyección un banco de pruebas CRDI, una bomba de alta presión HP3 Denso e inyectores Denso X2 ubicados en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE extensión Latacunga, la visualización de desgaste en agujas y toberas se utilizó el microscopio perteneciente a la Universidad De Las Fuerzas Armadas ESPE, la evidencia de desgaste en la bomba de alta presión se registró con una cámara digital.

Todos los recursos fueron herramientas esenciales para poder realizar el proyecto en el área de la investigación científica.

Tabla No. 84.

Recursos tecnológicos

No	Nombre
1	Banco de pruebas CRDI
2	Bomba de alta presión HP3 denso
3	Inyectores denso
4	Microscopio
5	Cámara digital
6	Computadora
7	Internet

5.1.3. Recursos materiales.

Los recursos materiales que se utilizaron en la realización de la investigación son todos los componentes físicos.

Tabla No. 85.

Recursos materiales

Detalle	No	Nombre
Materiales	1	Herramientas
	2	Diésel
	3	Biodiesel
	4	Inyectores
	5	Banco de pruebas
	6	Microscopio
	7	Internet
Electrónico	1	Módulo electrónico

5.1.4. Presupuesto.

La realización del proyecto titulado " ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LOS MATERIALES DE FABRICACIÓN DEL INYECTOR Y LA BOMBA DE ALTA PRESIÓN AL TRABAJAR CON MEZCLA COMBUSTIBLE OBTENIDO A PARTIR DEL ACEITE RECICLADO DE FRITURAS", se efectuó con un presupuesto estimado en gastos necesarios y llegar a la meta propuesta.

Tabla No. 86.

Presupuesto

PRESUPUESTO			
Nombre	CANTIDAD	P. Unitario	P total
Puesta a punto bomba de alta presión	1	10	10.00
Pecera y soporte	1	50.00	50.00
Accesorios del banco CRDI	1	20.00	20.00
Pruebas de funcionamiento mecánicos	5	25.00	125.00
Circuito impulsor de inyectores	1	120.00	120.00
Fuente 12 V / 30 A	1	20.00	20.00
Inyectores y sockets	5	132.50	662.50
Oxido de calcio	2	28.00	56.00
Metanol	3	40.00	120.00
Cañerías	1	25.00	25.00
Calado de bomba de alta presión	1	90.00	90.00
Diésel	1	5.50	5.50
Accesorios laboratorio	1	85.00	85.00
Transporte	1	100.00	100.00
		Total	1489.00

5.1.5. Cronograma

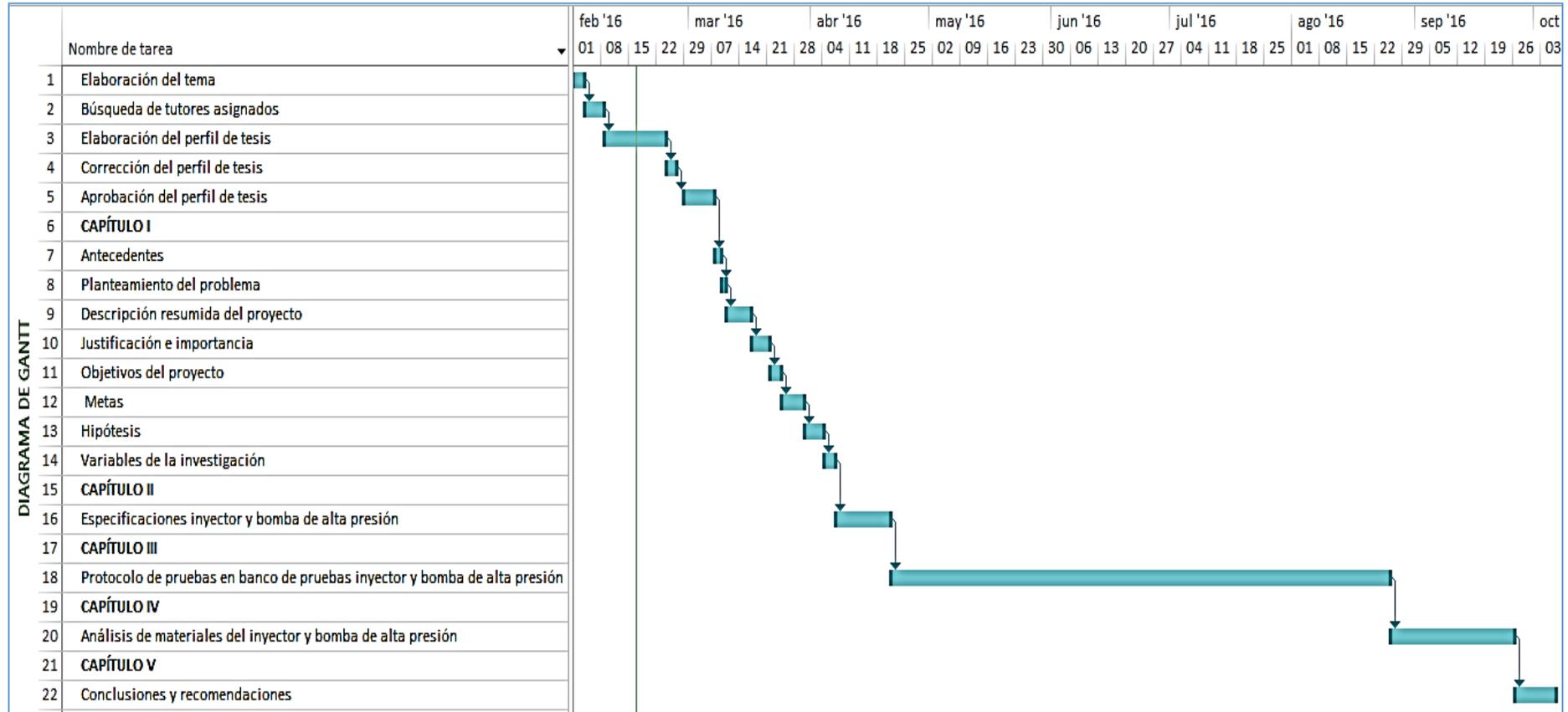


Figura No. 112. Cronograma de actividades

CAPÍTULO VI

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

- La mezcla combustible B5 obtenida a partir de aceite reciclado de frituras no es una alternativa energética sostenible para el uso en el sistema de inyección diésel, se ha comprobado que los materiales del inyector y la bomba de suministro de alta presión presentan anomalías de deterioro que afectan en el funcionamiento mecánico y electrónico de cada componente, la hipótesis “El uso de la mezcla combustible ecológica mantendrá las características de durabilidad de los materiales de fabricación del inyector y la bomba de alta presión con respecto al combustible de origen mineral” comprueba que el trabajo con mezcla combustible ecológica no mantiene ni aumenta la durabilidad de los componentes del sistema de inyección en comparación con el diésel puro.
- Se obtuvo biodiesel a partir de aceite reciclado de frituras por el método de transesterificación, se empleó como combustible en el banco de pruebas para los ensayos de durabilidad, siendo la mezcla combustible B5 la más óptima.
- El banco de pruebas fue adecuado para los ensayos de durabilidad, evidenciando el correcto calado de la bomba de alta presión y anexando un sistema de refrigeración y pulverización de los inyectores.
- Los cálculos matemáticos para la inyección de la mezcla combustible se realizaron con un tiempo de inyección bajo condiciones reales de trabajo del motor.

- Los ensayos de durabilidad se efectuaron limitando los periodos de trabajo de cada inyector, tomando en cuenta: los cálculos de referencia, presión de inyección, temperatura de la mezcla combustible, componentes de inyección y electrónicos, que mantengan un entorno seguro de trabajo.
- Los componentes de la bomba de suministro de alta presión y del inyector se examinaron en periodos de 50, 100, 150, y 200 horas de trabajo de manera cualitativa y gravitatoria. Los resultados obtenidos muestran un ligero desgaste que no refleja influencia en el correcto funcionamiento de la bomba de suministro de alta presión.
- Las pruebas de funcionamiento mecánico del inyector tales como: inductancia, resistencia, entrega y retorno de combustible otorgaron resultados significativos de daño en proporción directa a las horas de trabajo de cada inyector. Es posible que compuestos residuales productos de la transesterificación del biodiesel con óxido de calcio CaO como catalizador sean la causa de estas anomalías.
- El análisis del comportamiento del material de cada inyector se realizó en un microscopio a 100 micras de precisión, contemplando resultados de corrosión en la aguja del inyector.
- Esta investigación promueve la implementación de una reingeniería en el inyector, para el uso de la mezcla combustible B5 a partir de aceite frituras.

6.2. Recomendaciones

- Es necesario la innovación de un banco de pruebas con características operacionales de trabajo para ensayos de durabilidad de materiales.
- La investigación conlleva a realizar otros estudios con el uso de mezcla combustible B5 en los diferentes sistemas del motor de combustión interna, como también, efectuar las pruebas de durabilidad en condiciones reales de manejo.
- Se debe efectuar las pruebas de durabilidad con más horas de trabajo del sistema de inyección para potencializar los resultados.
- Obedecer las normas de seguridad, ambientales y de trabajo establecidas en cada uno de los laboratorios.
- Es necesario realizar análisis e investigaciones de aditivos ecológicos para el uso sostenible de la mezcla B5 sin afectar la durabilidad de los componentes del sistema de inyección siendo una solución real y práctica al tema de la contaminación y de la implementación de mezclas combustibles ecológicas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta, F., Castro, P., & Cortijo, E. (2008). *Manual de construcción y uso de reactor para producción de biodiésel a pequeña escala*. Lima. Recuperado el 28 de Julio de 2016, de www.solucionespracticas.org.pe/Descargar/260/2263
- Arellano Cabrera, H. J., & Falconi Toro, D. V. (2015). *Diseño y construcción de un banco de pruebas para inyectores mecánicos motores diesel*. Riobamba: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Augeri, F. (14 de Marzo de 2011). *Funcionamiento de Inyectores Piezoeléctricos*. Recuperado el 26 de Julio de 2016, de CISE Electrónica: <http://www.cise.com/portal/notas-tecnicas/item/140-funcionamiento-de-inyectores-piezoelctricos.html>
- Benjumea Hernández, P. N., Agudelo Santamaría, J. R., & Rios, L. A. (2009). *Biodiesel: Producción, calidad y caracterización*. Editorial Universidad de Antioquia.
- Bernard, E. (2012). Biodiesel: Los aspectos mecánicos en los vehículos. *CNP+L*, 4. Recuperado el 25 de Julio de 2016, de <http://www.bioenergywiki.net/images/e/e1/CNPML-Costa-Rica-Biodiesel-Aspectos-Meca%CC%81nicos-Vehi%CC%81culos.pdf>
- Blog de automóviles. (06 de Junio de 2011). *Instalación de un sistema Common Rail*. Recuperado el 27 de Julio de 2016, de <http://blogdeautomoviles.com/instalacion-de-un-sistema-common-rail/>
- Bosch, R. (2005). *Sistema de inyección diesel por acumulador Common Rail*. BOSCH. Recuperado el 25 de Julio de 2016, de <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=3JlI1hs3QiMC&oi=fnd&pg=PA4&dq=sistema+de+inyeccion+diesel+common+rail&ots=rug4HY1Jlx&sig=GZLs1mlNstaXgRDpXa5c0sqb5zY#v=onepage&q=sistema%20de%20inyeccion%20diesel%20common%20rail&f=false>
- Cárdenas, C. G. (2014). *Obtención de biodiesel a partir de aceites de frituras*. Recuperado el 28 de Julio de 2016, de

<http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/2558/1/T-UCE-0017-71.pdf>

Castro, M. (Abril de 2012). *CEDA*. Obtenido de Reflexiones en torno al desarrollo de los biocombustibles en Ecuador: <http://www.olade.org/sites/default/files/CIDA/Biocomustibles/Otros/CEDA%20Reflexiones%20desarrollo%20Biocombustibles%20Ecuador.pdf>

Cuyato, I. (s.f.). *Mantenimiento motores diesel*. Recuperado el 08 de Agosto de 2016, de Sistema common rail: <http://railcommon.blogspot.com/2008/08/el-sistema-common-rail.html>

Denso Corporation. (2004). *Manual de servicio*. Japón: Denso Corporation.
European automobile manufacturers association, Alliance of automobile manufacturers, Truck and engine manufacturers association, Japan automobile manufacturers association. (2013). *WORLDWIDE FUEL CHARTER*. Recuperado el 2016 de Octubre de 17

FEDAPAL. (2016). *Estadísticas y mercado*. Obtenido de <http://fedapal.com/web/>

Ganduglia, F., IICA, & ARPEL. (2009). *Manual de Biocombustibles*. Costa Rica y Uruguay.

Jácome Moromenacho, K. A., & López Nicolalde, D. A. (2013). *CONSTRUCCIÓN Y PROGRAMACIÓN DE UN módulo electrónico para comprobación y calibración de inyectores diésel CRDI*. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.

Loor Salazar, A. I. (5 de Agosto de 2014). *Elaboración artesanal de biodiesel en el reactor agitado mediante el uso de catalizadores sólidos*. Quito, Pichincha, Ecuador. Obtenido de 2014.

Millares imperial, J. (1986). *Motor Diésel Inyección y Combustión*. Barcelona: CEAC.

Presidencia de la Republica del Ec. Rafael Correa Delgado. (2012).

Salinas Carvajal, D. A., & Villavicencio Ramos, J. D. (2013). *Diseño y construcción mecánica de un banco para la comprobación de*

inyectores diesel: Denso, Delphi, Bosch del sistema CRDI. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.

SENESCYT. (2010). *El Plan Nacional Ciencia, Tecnología, Innovación y Saberes Ancestrales su política II.* Quito. Recuperado el 06 de Octubre de 2016

Villacis, C., & Burgos, D. (2016). Latacunga: Espe. Recuperado el 08 de Octubre de 2016

ANEXOS



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

CERTIFICACIÓN

Se certifica que el presente trabajo se realizó por los señores, **BYRON SANTIAGO ACUÑA HIDALGO** y **SANTIAGO JAVIER MORALES IZAMA**.

En la ciudad de Latacunga, a los **06 días del mes de diciembre del 2016**.

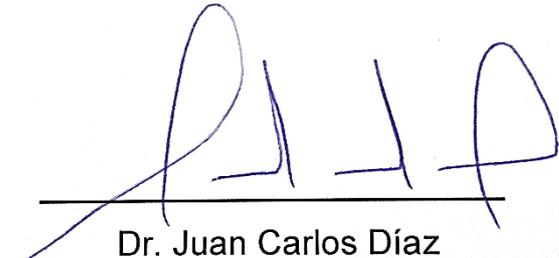


PhD. Marcos Gutiérrez
DIRECTOR DEL PROYECTO

Aprobado por:



Ing. Danilo Zambrano
DIRECTOR DE CARRERA



Dr. Juan Carlos Díaz
SECRETARIO ACADÉMICO