



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 DESGASTE DEL PULVERIZADOR Y
COMPORTAMIENTO ELECTRÓNICO DE INYECTORES CRDI Y BOMBA
DE ALTA PRESIÓN CP AL UTILIZAR LA MEZCLA COMBUSTIBLE
DIESEL SURFACTANTES DE AGUA”**

AUTORES: BASSANTE BARBERÁN, JULIETA MISHHELL

DÍAZ VIVANCO, ÁNGEL SANTIAGO

DIRECTOR: ING. ERAZO LAVERDE, WASHIGTON GERMÁN

LATACUNGA

2019



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

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

Certifico que el trabajo de titulación, "ANÁLISIS DEL DESGASTE DEL PULVERIZADOR Y COMPORTAMIENTO ELECTRÓNICO DE INYECTORES CRDI Y BOMBA DE ALTA PRESIÓN CP AL UTILIZAR LA MEZCLA COMBUSTIBLE DIESEL SURFACTANTES DE AGUA" fue realizado por los señores Bassante Barberán, Julieta Mishell y Díaz Vivanco, Ángel Santiago, el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Latacunga, 22 de enero de 2019

Erazo Laverde, Washington Germán

CC:050143263-7



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

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

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, Bassante Barberán, Julieta Mishell con cédula de ciudadanía 050347963-6 y Díaz Vivanco, Ángel Santiago con cédula de ciudadanía 110456316-6, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación **“ANÁLISIS DEL DESGASTE DEL PULVERIZADOR Y COMPORTAMIENTO ELECTRÓNICO DE INYECTORES CRDI Y BOMBA DE ALTA PRESIÓN CP AL UTILIZAR LA MEZCLA COMBUSTIBLE DIESEL SURFACTANTES DE AGUA”** es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz.

Latacunga, 22 de enero de 2019

Bassante Barberán Julieta Mishell

Díaz Vivanco, Ángel Santiago

050347963-6

110456316-6



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

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

AUTORIZACIÓN

Nosotros, Bassante Barberán, Julieta Mishell con cédula de ciudadanía 050347963-6 y Díaz Vivanco, Ángel Santiago con cédula de ciudadanía 110456316-6, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación **“ANÁLISIS DEL DESGASTE DEL PULVERIZADOR Y COMPORTAMIENTO ELECTRÓNICO DE INYECTORES CRDI Y BOMBA DE ALTA PRESIÓN CP AL UTILIZAR LA MEZCLA COMBUSTIBLE DIESEL SURFACTANTES DE AGUA”** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Latacunga, 22 de enero de 2019

Bassante Barberán Julieta Mishell

Díaz Vivanco, Ángel Santiago

050347963-6

110456316-6

DEDICATORIA

Dedico a mis padres, Maribel y Marcelo, que son las personas más importantes en mi vida, gracias a ellos he llegado a donde estoy ahora, con su apoyo, amor, dedicación y esfuerzo, a mis 5 hermanos Andrea mi ejemplo, mi amiga, consejera la que me da la mano cuando me caigo, a Marcelo que siempre está para acompañarme y acolitarme en todo, a milena que cuando necesito está dispuesta a escuchar y entender sin juzgar, a Tais la más pequeña que con su alegría, carisma me enseña a ver la vida de la misma manera que ella, y Marcela mi compañera de vida, mi amiga fiel, mi compinche con quien compartí desde niña muchos momentos buenos, y malos. .

Les dedico a mis abuelos, Julieta, María y Marcelo que sin duda alguna son ejemplo de amor, constancia, honestidad y lealtad, que todos los días están para ayudarme en lo que necesite, que me enseñaron valores que ahora los aplico.

A mis tíos Clari y Pablo reflejo de educación, trabajo y unión familiar, pese a los retos que les pone la vida salen adelante y están pendientes de mí.

A mi novio, amigo, compañero fiel Santiago que desde que le conocí como persona me ilumino me hizo crecer, aprendo todos los días de él, el mejor ser humano que Dios me regalo.

Y por último y no menos importante a la luz de mi vida, a mi pasión, a mi ejemplo de carácter de fuerza, de bondad, un ejemplo de vida mi Bis abuelita Margarita.

Julieta Mishell Bassante Barberán

DEDICATORIA

El presente trabajo de investigación lo dedico primeramente a Dios quien ha sido mi guía y sustento a lo largo de la carrera.

A mis padres Ángel y Yadira, quienes han sido mi apoyo incondicional, con su esfuerzo, motivación e incansables consejos me han sabido demostrar que con dedicación y determinación se pueden lograr grandes objetivos; por estar siempre junto a mí en todo momento, guiándome y permitiéndome ser la mejor versión de mí mismo cada día espiritual, personal y profesionalmente.

A mi hermana Carolina, mi princesa, mi confidente, quien desde temprana edad ha sido un claro ejemplo de responsabilidad y dedicación.

A mi novia y compañera de tesis Julieta, quien siempre estuvo presente con su amor, apoyo, paciencia, compartiendo sus conocimientos, ayudando en todo momento para llevar a cabo esta investigación y alcanzar el objetivo juntos.

Dedico a mis tíos y primos, quienes siempre estuvieron pendientes de mí, me han apoyado y me han brindado su mano en todo momento, por mostrarme la importancia de la unión familiar lo unidos que somos.

Ángel Santiago Díaz Vivanco

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por la sabiduría que me da para tomar las mejores decisiones, y enseñarme que el camino del bien es el mejor.

De manera especial al Ing. Germán Erazo por su tiempo y conocimiento que me brindo en la universidad y fuera de ella.

Al Ing. Leónidas y Pepito, siempre estuvieron dispuestos ayudar y aconsejar, fuera de clases me brindaron su amistad.

A mis amigos Adrián, Gaby y Edwin quienes me acompañaron todos los días de mi vida estudiantil, con quien compartí, risas, tristezas, ideas, son amigos leales que siempre los voy a recordar.

Agradezco a mi familia, amigos, y colaboradores que hicieron posible que esta tesis salga adelante.

Julieta Mishell Bassante Barberán

AGRADECIMIENTO

Agradezco de manera especial al Ing. Germán Erazo, por su vital apoyo en la investigación, por compartir sus conocimientos, su orientación, siempre dispuesto a colaborar.

A Dios por ser luz en la oscuridad, brindarme la valentía y el coraje de no desistir nunca.

A mis padres Ángel y Yadira, nunca me dejaron solo, me apoyaron en momentos de flaqueza y de alegría, sin ellos nada de esto sería posible.

A los ingenieros Leónidas y José, quienes nos brindaron su apoyo en todo, más que docentes siempre recibimos su apoyo como amigos

A mi familia, amigos y muchas personas más que estuvieron involucradas en el desarrollo de este proyecto que sin su apoyo no podríamos haber alcanzado esta meta, infinitas gracias: Familia Bassante Barberán, Felipe, Danilo.

Ángel Santiago Díaz Vivanco

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CARÁTULA

CERTIFICACIÓN I

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD II

AUTORIZACIÓN III

DEDICATORIA.....IV

DEDICATORIA.....V

AGRADECIMIENTO.....VI

AGRADECIMIENTO.....VII

ÍNDICE DE CONTENIDOS VIII

ÍNDICE DE TABLAS XVI

ÍNDICE DE FIGURAS XXII

RESUMEN XXVIII

ABSTRACT XXIX

CAPÍTULO I**MARCO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN**

1.1 Antecedentes investigativos 31

1.2 Planteamiento del problema 33

1.3 Justificación e importancia 35

1.3	Objetivos	36
1.3.1	Objetivo general	36
1.3.2	Objetivos específicos.....	36
1.4	Metas.....	37
1.5	Hipótesis.....	38
1.6	Variables de investigación	38
1.6.1	Variable independiente	38
1.6.2	Variable dependiente.....	39
1.7	Metodología de la investigación.....	40

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1	Sistema de inyección CRDI	45
2.1.1	Configuración del sistema CRDI.....	45
2.1.2	Componentes del sistema CRDI.....	47
2.2	Bomba de alta presión tipo HP3	47
2.2.1	Constitución.....	47
2.2.2	Despiece	49
2.2.3	Funciones de las piezas	49
2.3	Conducto común	50

2.4	Inyector.....	52
2.4.1	Constitución.....	53
2.4.2	Funcionamiento del inyector	58
2.4.3	Características constructivas para inyectores diésel common rail.....	61
2.5	Pruebas y control de inyectores.....	63
2.5.1	Prueba de estanqueidad.....	63
2.5.2	Prueba de fuga de retorno	64
2.5.3	Prueba de entrega de combustible	64
2.5.4	Prueba de pulverización y dirección del chorro.....	65
2.6	Combustible diésel	66
2.6.1	Propiedades del combustible diésel.....	67
2.6.2	Biocombustible	70
2.7	Surfactantes	70
2.7.1	Clasificación de surfactantes	71
2.7.2	Emulsiones	72
2.7.3	Tipos de emulsiones.....	73
2.7.4	Tensoactivos para emulsiones.....	74
2.7.5	Ejemplos de tensoactivos:	74
2.7.6	Balance hidrofílico lipofílico (BHL)	77

	XI
2.7.7	Escala de Griffin 78
2.8	Desgaste 79
2.8.1	Desgaste adhesivo 80
2.9	Rugosidad 82
2.9.1	Introducción 82
2.9.2	Estados de superficies..... 83
2.9.3	Parámetros de la rugosidad superficial 86
2.9.4	Rugosidad media aritmética Ra 87

CAPÍTULO III

PROTOCOLO DE PRUEBAS

3.1	Equipos 92
3.1.1	Banco para comprobación de inyectores CRDI- ESPE 92
3.1.2	Banco de pruebas de sistema Common Rail SPEDMAQ S40 94
3.1.3	Microscopio metalúrgico invertido XJL-17AT 96
3.1.4	Balanza analítica ADAM 98
3.1.5	Rugosímetro CMSRT210..... 101
3.1.6	Medidor de LCR 103
3.1.7	Megohmetro Supco M500..... 105
3.2	Método de elaboración de emulsiones..... 106

3.2.1	Formulación de emulsiones	106
3.2.2	Equipos utilizados para la elaboración de la emulsión	111
3.2.3	Proceso de elaboración de emulsiones	116
3.3	Selección de los elementos del banco de pruebas CRDI.....	120
3.3.1	Selección de la bomba de alta presión	121
3.3.2	Selección del inyector	121
3.3.3	Depósito	121
3.3.5	Cálculo del tiempo de inyección bajo condiciones reales.....	122
3.4	Protocolo de pruebas 50, 100, 150 y 200 horas utilizando la mezcla- combustible	124
3.4.5	Adecuación del banco de pruebas comprobador de inyectores CRDI	125
3.4.6	Operación del banco de pruebas CRDI	130
3.4.7	Trabajos en la bomba de alta presión HP3	132
3.4.8	Trabajos realizados en el inyector Denso	136
3.5	Comprobación del estado de inyectores utilizando banco de pruebas SPEDMAQ S40s.....	141
3.5.5	Estanqueidad.....	142
3.5.6	Pre inyección	142
3.5.7	Ralentí	143

3.5.8	Plena carga	143
3.6	Protocolo de visualización de microestructuras	144
3.7	Medición de rugosidad de las superficies	147
3.7.5	Preparación de elementos	147
3.7.6	Preparación del equipo	148
3.7.7	Medición de rugosidad.....	150
3.8	Protocolo del pesaje de los elementos internos de la bomba e inyector	150
3.8.5	Preparación de elementos	151
3.8.6	Pesaje de elementos	153

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

4.1	Comprobación y análisis del comportamiento del material en los componentes de la bomba de alta presión.....	154
4.1.1	Peso	154
4.1.2	Inspección visual de los componentes.....	173
4.1.3	Análisis de rugosidad de la bomba de alta presión Denso	178
4.2	Comprobación y análisis del comportamiento del material en los componentes del inyector	184
4.2.1	Peso	185

4.2.2	Inspección visual de los componentes.....	203
4.2.3	Análisis de la rugosidad superficial del inyector Denso.....	212
4.3	Pruebas de comporta-miento eléctrico y de funcionamiento mecánico del inyector.....	217
4.3.1	Inductancia.....	218
4.3.2	Resistencia.....	219
4.3.3	Prueba de estanqueidad.....	220
4.3.4	Prueba de pre – inyección.....	221
4.3.5	Prueba de ralentí.....	223
4.3.6	Prueba de plena carga.....	224
4.3.7	Aislamiento de la bobina.....	226
4.4	Análisis comparativo de la microestructura del inyector mediante el microscopio XJL-17AT.....	226
4.4.1	Análisis microscópico del émbolo de mando.....	227
4.4.2	Análisis microscópico de la aguja de la tobera.....	228
4.4.3	Análisis microscópico del perfil del agujero de pulverización de la tobera.....	229

CAPÍTULO V

MARCO ADMINISTRATIVO

5.1	Recursos.....	230
-----	---------------	-----

5.1.1	Recursos humanos.....	230
5.1.2	Recursos tecnológicos.....	231
5.1.3	Recursos materiales	231
5.2	Análisis de costos de la investigación.....	232
5.2.1	Costos de obtención de mezcla combustible	232
5.2.2	Costos de adecuación del banco de pruebas	234
5.2.3	Costos de pruebas de inyectores.....	235
5.2.4	Costo total de la investigación	235
	CONCLUSIONES	237
	RECOMENDACIONES	240
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	241

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Variable independiente: Durabilidad de los componentes</i>	38
Tabla 2 <i>Variable dependiente: Mezcla combustible obtenida a partir de la mezcla diésel - surfactantes de agua</i>	39
Tabla 3 <i>Metodología, instrumentación y laboratorios donde se llevó a cabo el proyecto</i>	42
Tabla 4 <i>Funciones de cada componente de la bomba de alta presión HP3</i>	50
Tabla 5 <i>Funciones de cada componente del conducto común</i>	51
Tabla 6 <i>Modelo con 5 inyecciones</i>	57
Tabla 7 <i>Fases y valores de activación del inyector</i>	61
Tabla 8 <i>Requisitos del diésel No. 2</i>	66
Tabla 9 <i>Tipos de surfactantes</i>	71
Tabla 10 <i>Clasificación de los surfactantes</i>	71
Tabla 11 <i>Características del ácido oleico</i>	75
Tabla 12 <i>Características del nonil fenol 6 moles</i>	76
Tabla 13 <i>Características del Kolliphor EL</i>	77
Tabla 14 <i>Uso del concepto del número BHL de Griffin</i>	78
Tabla 15 <i>Aplicación de una emulsión de acuerdo al BHL</i>	79
Tabla 16 <i>Parámetros normalizados para Ra (μm)</i>	88
Tabla 17 <i>Relación de medidas de rugosidad</i>	88
Tabla 18 <i>Valores de rugosidad para diferentes aplicaciones</i>	89
Tabla 19 <i>Grado de rugosidad</i>	90

Tabla 20 <i>Características del banco para comprobación de inyectores CRDI – ESPE</i> ...	92
Tabla 21 <i>Partes del banco de pruebas</i>	94
Tabla 22 <i>Características del banco de pruebas CRDI-SPEEDMAQ S40</i>	95
Tabla 23 <i>Características del microscopio metalúrgico invertido XJL-17AT</i>	96
Tabla 24 <i>Partes del microscopio XJL-17AT</i>	98
Tabla 25 <i>Revolver quíntuple del microscopio</i>	98
Tabla 26 <i>Características de la balanza analítica ADAM</i>	99
Tabla 27 <i>Partes de la balanza analítica ADAM</i>	100
Tabla 28 <i>Características del rugosímetro CMSRT210</i>	101
Tabla 29 <i>Partes del rugosímetro</i>	102
Tabla 30 <i>Partes de la pantalla del rugosímetro</i>	103
Tabla 31 <i>Características del medidor de LCR</i>	104
Tabla 32 <i>Partes del medidor LCR</i>	105
Tabla 33 <i>Características de la balanza de precisión BPS 51 plus marca BOECO</i>	111
Tabla 34 <i>Características del agitador magnético MSH 420 BOECO</i>	113
Tabla 35 <i>Características del agitador mecánico OSD-20 BOECO</i>	115
Tabla 36 <i>Procedimiento elaboración de mezcla</i>	117
Tabla 37 <i>Ficha técnica del banco de pruebas CRDI</i>	120
Tabla 38 <i>Características de funcionamiento del inyector Denso 6521</i>	121
Tabla 45 <i>Adecuación del banco de pruebas</i>	125
Tabla 46 <i>Operación del banco</i>	130
Tabla 47 <i>Desmontaje de la bomba</i>	132
Tabla 48 <i>Desarmado de la bomba</i>	133

Tabla 49 <i>Desmontaje del inyector Denso serie 6521</i>	136
Tabla 50 <i>Desarmado del inyector</i>	138
Tabla 51 <i>Partes del inyector 6521</i>	141
Tabla 52 <i>Valores de los parámetros de a prueba de estanqueidad</i>	142
Tabla 53 <i>Valores de los parámetros de a prueba de pre inyección</i>	142
Tabla 54 <i>Valores de los parámetros de ralentí</i>	143
Tabla 55 <i>Valores de los parámetros de la prueba de plena carga</i>	143
Tabla 56 <i>Elementos requeridos para el pesaje del inyector</i>	151
Tabla 57 <i>Elementos requeridos para el pesaje de la bomba</i>	152
Tabla 58 <i>Desgaste del rotor interno</i>	155
Tabla 59 <i>Desgaste del rotor externo</i>	157
Tabla 60 <i>Desgaste del separador</i>	158
Tabla 61 <i>Desgaste de la tapa de la bomba de alimentación</i>	160
Tabla 62 <i>Desgaste de la bomba de succión inferior</i>	161
Tabla 63 <i>Desgaste del émbolo buzo inferior</i>	163
Tabla 64 <i>Desgaste de la bomba de succión superior</i>	165
Tabla 65 <i>Desgaste del émbolo de buzo superior</i>	167
Tabla 66 <i>Desgaste de la leva anular</i>	169
Tabla 67 <i>Desgaste de la tapa</i>	171
Tabla 68 <i>Desgaste del árbol de levas</i>	172
Tabla 69 <i>Comportamiento del material en el rotor interno</i>	174
Tabla 70 <i>Comportamiento del material en el rotor externo</i>	174
Tabla 71 <i>Comportamiento del material en el separador cara superior</i>	175

Tabla 72 <i>Comportamiento del material en el separador cara inferior</i>	175
Tabla 73 <i>Comportamiento del material en el émbolo buzo superior</i>	176
Tabla 74 <i>Comportamiento del material en el émbolo buzo inferior</i>	177
Tabla 75 <i>Comportamiento del material en la leva anular cara frontal</i>	177
Tabla 76 <i>Comportamiento del material en la leva anular cara posterior</i>	178
Tabla 77 <i>Valores de rugosidad en el árbol de levas sector 1</i>	179
Tabla 78 <i>Valores de rugosidad en el árbol de levas sector 2</i>	180
Tabla 79 <i>Valores de rugosidad en el árbol de levas sector 3</i>	181
Tabla 80 <i>Valores de rugosidad en la leva anular cara frontal</i>	182
Tabla 81 <i>Valores de rugosidad en la leva anular cara posterior</i>	183
Tabla 82 <i>Desgaste de la portatobera</i>	186
Tabla 83 <i>Desgaste de la tobera</i>	187
Tabla 84 <i>Desgaste del rotor</i>	189
Tabla 85 <i>Desgaste de la varilla de empuje</i>	190
Tabla 86 <i>Desgaste de la aguja</i>	192
Tabla 87 <i>Desgaste del resorte</i>	194
Tabla 88 <i>Desgaste de la guía I</i>	196
Tabla 89 <i>Desgaste de la guía II</i>	197
Tabla 90 <i>Desgaste de la arandela de presión inferior</i>	199
Tabla 91 <i>Desgaste de la arandela de presión superior</i>	200
Tabla 92 <i>Desgaste del émbolo de mando</i>	202
Tabla 93 <i>Comportamiento del material del portatobera</i>	203
Tabla 94 <i>Comportamiento del material de la tobera</i>	204

Tabla 95 <i>Comportamiento del material en la arandela de presión superior</i>	205
Tabla 96 <i>Comportamiento del material en la arandela de presión inferior</i>	205
Tabla 97 <i>Comportamiento del material en la varilla de empuje</i>	206
Tabla 98 <i>Comportamiento del material del rotor, cara superior</i>	206
Tabla 99 <i>Comportamiento del material del rotor, cara inferior</i>	207
Tabla 100 <i>Comportamiento del material de la aguja</i>	207
Tabla 101 <i>Comportamiento del material del émbolo de mando</i>	208
Tabla 102 <i>Comportamiento del material del resorte</i>	210
Tabla 103 <i>Comportamiento del material de la guía I</i>	211
Tabla 104 <i>Comportamiento del material de la guía II</i>	212
Tabla 105 <i>Valores de rugosidad del émbolo de mando del inyector sector 1</i>	213
Tabla 106 <i>Valores de rugosidad del émbolo de mando del inyector sector 2</i>	214
Tabla 107 <i>Valores de rugosidad del émbolo de mando del inyector sector 3</i>	215
Tabla 108 <i>Valores de rugosidad en la aguja del inyector</i>	216
Tabla 109 <i>Inductancia</i>	218
Tabla 110 <i>Resistencia (Ω)</i>	219
Tabla 111 <i>Estanqueidad (ml)</i>	220
Tabla 112 <i>Pre – inyección (ml)</i>	221
Tabla 113 <i>Ralentí (ml)</i>	223
Tabla 114 <i>Plena carga (ml)</i>	224
Tabla 115 <i>Aislamiento de la bobina ($M\Omega$)</i>	226
Tabla 116 <i>Microestructuras de los sectores del embolo de mando</i>	227
Tabla 117 <i>Microestructura de la aguja de la tobera</i>	228

Tabla 118 <i>Microestructura del agujero de pulverización de la tobera</i>	229
Tabla 119 <i>Colaboradores de la investigación</i>	230
Tabla 120 <i>Recursos tecnológicos</i>	231
Tabla 121 <i>Recursos materiales</i>	232
Tabla 122 <i>Costo de la obtención de la mezcla combustible</i>	233
Tabla 123 <i>Costos de adecuación del banco simulador de pruebas</i>	234
Tabla 124 <i>Costo de pruebas de inyectores</i>	235
Tabla 125 <i>Costo total de la investigación</i>	236

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Árbol de problemas	34
Figura 2. Clasificación de las líneas generales del sistema CRDI	46
Figura 3. Vista exterior de los principales componentes del sistema	47
Figura 4. Partes de la bomba HP3.....	48
Figura 5. Despiece de la bomba HP3	49
Figura 6. Componentes del conducto común	51
Figura 7. Partes del inyector	53
Figura 8. Inyector tipo X1	54
Figura 9. Inyector tipo X2	55
Figura 10. Inyector tipo G2	56
Figura 11. Modelo con 5 inyecciones	56
Figura 12. Oscilograma de voltaje de un inyector diésel CRDI	57
Figura 13. Oscilograma de corriente de un inyector diésel CRDI.....	58
Figura 14. Funcionamiento del inyector	60
Figura 15. Funcionamiento de la EDU	61
Figura 16. Tipos de pulverización	65
Figura 17. Modelo de pulverización	68
Figura 18. Emulsión de diésel y agua en porcentaje de 20%.....	73
Figura 19. Ácido oleico	75
Figura 20. Nonil fenol 6 moles	76
Figura 21. Kolliphor EL	77
Figura 22. Desgaste adhesivo entre dos piezas en movimiento	80

Figura 23. Desgaste abrasivo debido a la presencia de partículas duras	81
Figura 24. Desgaste por fatiga superficial.....	82
Figura 25. Superficie ideal	83
Figura 26. Perfil ideal.....	84
Figura 27. Superficie real	84
Figura 28. Perfil real	85
Figura 29. Perfil de rugosidad.....	85
Figura 30. Valores en coordenadas de rugosidad	87
Figura 31. Partes del banco de pruebas CRDI-ESPE	93
Figura 32. Banco de pruebas CRDI-SPEEDMAQ S40	95
Figura 33. Partes del microscopio XJL-17AT	97
Figura 34. Partes de la balanza ADAM.....	100
Figura 35. Partes del rugosímetro.....	102
Figura 36. Partes de la pantalla del rugosímetro.....	103
Figura 37. Partes del medidor de LCR.....	104
Figura 38. Megohmetro Supco M500	106
Figura 39. Porcentajes de tensoactivos.....	108
Figura 40. Porcentajes de la mezcla.....	110
Figura 41. Balanza de precisión BOECO.....	111
Figura 42. Elaboración de la mezcla.....	112
Figura 43. Agitador magnético MSH 420 BOECO	113
Figura 44. Proceso de agitación	114
Figura 45. Agitador mecánico OSD-20 BOECO	115

Figura 46. Agitación de la mezcla	116
Figura 47. Depósito de mezcla combustible	122
Figura 52. Botón de emergencia.....	132
Figura 53. Despiece del inyector Denso	141
Figura 54. Resultados finales de cada prueba realizada	144
Figura 55. Sectores analizados émbolo de mando	145
Figura 56. Preparación del equipo.....	146
Figura 57. Colocación del elemento	147
Figura 58. Utilización del microscopio	147
Figura 59. Sectores inspeccionados en el émbolo de mando	148
Figura 60. Sectores analizados en el árbol de levas.....	148
Figura 61. Utilización del equipo.....	149
Figura 62. Calibración del rugosímetro	150
Figura 63. Medición de rugosidad de la aguja	150
Figura 64. Pesaje del émbolo de mando	153
Figura 65. Rotor interno.....	155
Figura 66. Desgaste del rotor interno	156
Figura 67. Rotor externo.....	157
Figura 68. Desgaste del rotor externo	157
Figura 69. Separador.....	158
Figura 70. Desgaste del separador.....	159
Figura 71. Tapa de la bomba de alimentación	159
Figura 72. Desgaste de la tapa de la bomba de alimentación.....	160

Figura 73. Bomba de succión inferior	161
Figura 74. Desgaste de la bomba de succión inferior	162
Figura 75. Émbolo buzo inferior	163
Figura 76. Desgaste del émbolo buzo inferior	164
Figura 77. Bomba de succión superior	165
Figura 78. Desgaste de la bomba de succión superior	166
Figura 79. Émbolo de buzo superior	167
Figura 80. Desgaste del émbolo de buzo superior	168
Figura 81. Leva anular	169
Figura 82. Desgaste de la leva anular	170
Figura 83. Tapa	171
Figura 84. Desgaste de la tapa	171
Figura 85. Árbol de levas	172
Figura 86. Desgaste del árbol de levas	173
Figura 87. Árbol de levas y sectores de contacto	179
Figura 88. Valores de rugosidad en el árbol de levas sector 1	180
Figura 89. Valores de rugosidad en el árbol de levas sector 2	181
Figura 90. Valores de rugosidad en el árbol de levas sector 3	182
Figura 91. Valores de rugosidad en la leva anular cara frontal	183
Figura 92. Valores de rugosidad en la leva anular cara posterior	184
Figura 93. Portatobera	185
Figura 94. Desgaste de la portatobera	186
Figura 95. Tobera	187

Figura 96. Desgaste de la tobera.....	188
Figura 97. Rotor	189
Figura 98. Desgaste del rotor	189
Figura 99. Varilla de empuje.....	190
Figura 100. Desgaste de la varilla de empuje.....	191
Figura 101. Aguja	192
Figura 102. Desgaste de la aguja	193
Figura 103. Resorte.....	194
Figura 104. Desgaste del resorte.....	195
Figura 105. Guía I	196
Figura 106. Desgaste de la guía I.....	196
Figura 107. Guía II	197
Figura 108. Desgaste de la guía II.....	198
Figura 109. Arandela de presión inferior.....	198
Figura 110. Desgaste de la arandela de presión inferior.....	199
Figura 111. Arandela de presión superior.....	200
Figura 112. Desgaste de la arandela de presión superior.....	201
Figura 113. Émbolo de mando	202
Figura 114. Desgaste del émbolo de mando	202
Figura 115. Sectores de análisis del émbolo de mando.....	213
Figura 116. Valores de rugosidad del émbolo de mando del inyector sector 1	214
Figura 117. Valores de rugosidad del embolo de mando del inyector sector 2	215
Figura 118. Valores de rugosidad del embolo de mando del inyector sector 3	216

Figura 119. Valores de rugosidad en la aguja del inyector	217
Figura 120. Banco de pruebas SPEEDMAQ S40	218
Figura 121. Inductancia	219
Figura 122. Resistencia.....	220
Figura 123. Estanqueidad.....	221
Figura 124. Pre – inyección	222
Figura 125. Ralentí	223
Figura 126. Plena carga	225
Figura 127. Costos de surfactantes	233

RESUMEN

El diésel es un combustible muy eficiente, su uso es muy popular entre pequeños y grandes vehículos, hoy en día se diseñan sistemas de inyección de combustible de muy altas exigencias que requieren de un combustible de alta calidad, de modo que se logren disminuir las emisiones contaminantes. En esta investigación se analiza el desgaste que se produce en el pulverizador del inyector así como de los componentes de la bomba de alta presión al trabajar con la mezcla combustible diésel surfactantes de agua en una concentración de 67 y 33 % respectivamente. La mezcla combustible es una preparación obtenida por la combinación de diésel, agua con ácido oleico, Nonil fenol 6 moles y kolliphor. Se experimentó en inyectores DENSO 6521 y bomba de alta presión CRDI utilizando recursos tecnológicos a fines a la investigación disponibles en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE extensión Latacunga, en períodos de 50,100, 150 y 200 horas de funcionamiento a 2500 RPM considerando como un desplazamiento de 13600 km. Verificando los valores del inyector y bomba a las cero horas de funcionamiento y los valores obtenidos luego de cada protocolo de prueba se cotejó: estado electrónico del inyector, inductancia, resistencia, aislamiento de la bobina, estado mecánico como: estanqueidad, pre inyección, ralentí y plena carga. Mediante observación microscópica y medición de rugosidad se analizó el desgaste superficial que presentaron los principales elementos de contacto dentro de la bomba e inyector CRDI. Con la ayuda de balanzas analíticas de tres y cuatro décimas se realizó el pesaje de los componentes interno del inyector y de la bomba de alta presión. El resultado de los análisis realizados permite concluir que el comportamiento de los elementos de pulverización y de los elementos internos de la bomba de alta presión con la mezcla combustible genera desgastes prematuros que afectan el desempeño de los componentes del sistema de alimentación.

PALABRAS CLAVE:

- **INYECTORES CRDI**
- **SURFACTANTES**
- **EMULSIÓN DIESEL - AGUA**
- **RUGOSIDAD SUPERFICIAL**

ABSTRACT

Diesel is a very efficient fuel, its use is very popular among small and large vehicles, nowadays fuel injection systems are designed with very high demands that require a high quality fuel, in order to reduce emissions pollutants This research analyzes the wear that occurs in the nozzle spray as well as the components of the high pressure pump when working with the fuel mixture diesel water surfactants in a concentration of 67 and 33% respectively. The fuel mixture is a preparation obtained by the combination of diesel, water with oleic acid, Nonyl phenol 6 mol and kolliphor. We experimented with DENSO 6521 injectors and CRDI high pressure pump using research technological resources available at the University of the Armed Forces, extension of Latacunga, in periods of 50,100, 150 and 200 hours of operation at 2500 RPM, considered as a displacement. of 13600 km. Checking the values of the injector and pump at zero hours of operation and the values obtained after each test protocol is checked: electronic status of the injector, inductance, resistance, insulation of the coil, mechanical state such as: sealing, pre injection, idle and full load. By means of microscopic observation and roughness measurement, the surface wear of the main contact elements inside the CRDI pump and injector was analyzed. With the help of analytical scales of three and four tenths, the internal components of the injector and the high pressure pump were weighed. The result of the analyzes carried out allows to conclude that the behavior of the spray elements and the internal elements of the high pressure pump with the fuel mixture generates premature wear that affects the performance of the components of the feeding system

KEY WORDS

- **CRDI INJECTOR**
- **SURFACTANTS**
- **EMULSION DIESEL - WATER**
- **SURFACE ROUGHNESS**

CAPÍTULO I

1. MARCO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 Antecedentes investigativos

El sector automotriz se encuentra constantemente en búsqueda de sistemas más eficientes en cuanto a la dosificación de combustible con la finalidad de reducir las emisiones contaminantes y cumplir con las exigencias del motor como consumo y potencia.

(MundoDiario, 2014) afirma: “El elevado nivel de prestaciones de los motores Diésel actuales, requiere del uso de combustibles de alta calidad que puedan soportar el nivel de exigencia necesario sin comprometer la vida de los componentes del sistema Common Rail” (p.1).

Existen varias investigaciones que muestran resultados sobre este tema, las mismas están orientadas a mejorar parámetros mecánicos del motor y reducir emisiones contaminantes:

(Guzmán & Peralvo, 2011) concluyen: “Al incrementar la cantidad de agua de la microemulsión, la eficiencia de la reducción de óxidos de nitrógeno (NOx) generado por el motor aumenta. La emisión (NOx) del motor que utiliza diésel Premium microemulsionado con agua disminuye 14% (valor promedio), en relación a la emisión de (NOx) medidos al motor funcionando con diésel Premium.”(p.215)

Un ligero aumento del torque efectivo (<4%) cuando se utiliza la emulsión se observa en toda la gama de velocidades del motor. Cuando la carga es quemada en el interior del cilindro, el agua se vuelve vapor con las altas presiones, y esto puede ser la razón principal del aumento del torque. Otra razón es que la baja tensión interfacial para la interfase de aceite-agua conduce al fenómeno microexplosión. (Melo, Piloto, Goyos, & Ferrer, 2013, p.15)

Los tres combustibles (diésel puro, mezcla de diésel y agua sin surfactante, mezcla de diésel y agua con surfactante) muestran la misma tendencia donde la eficiencia térmica de frenado, se incrementa significativamente a medida que aumenta la carga. Otra prueba que demuestra que el motor es combustionado eficientemente en condiciones de carga más alta. Ambos tipos de emulsión tienen una eficiencia térmica de frenado más alta en comparación con el diésel puro. Los combustibles de emulsión, tanto la mezcla de diésel y agua con surfactante como la mezcla de diésel y agua sin surfactante, aumentaron la eficiencia térmica del motor debido a los fenómenos de micro-explosión. Esto es gracias al proceso de evaporación rápida del agua que inicialmente está contenida en una gota de aceite, lo cual desgarró la gota en partículas muy finas, lo que ayuda al proceso de mezcla de aire y combustible, aumentando así la eficiencia de combustión. Otro factor se debe a la mayor demora en el encendido al usar el combustible de emulsión. El efecto de aumentar el retardo de encendido es que más combustible diésel se puede preparar físicamente (proceso de evaporación y mezcla) para la reacción química que conduce a un aumento en la tasa de liberación de calor. (Ahmad et al, 2018, p.7)

(Pucuji, 2016) concluye: “Se determinó el nivel de gases contaminantes generados por el diésel y por las emulsiones de combustible, estableciendo que todas las emulsiones generan menor cantidad de NOx, la emulsión diésel con el 5% de agua emite menor cantidad de NOx siendo de 184.5 ppm, frente a 472 ppm, emitidas por el diésel neto, ambas mediciones realizadas a la potencia máxima alcanzada por la prueba.”(p.175)

(Carrillo & Taco, 2018) señalan: “El nivel de emisiones de gases contaminantes con el uso de emulsiones en el motor MZR-D 2.5, registrándose la emulsión de 5 % como el mayor generador de NOx con 404 ppm Vol a la temperatura de 26° C reduciendo escalonadamente mientras aumenta su temperatura, hasta 46 ppm Vol a 3000 rpm en temperatura de funcionamiento.”(p.149)

El sistema de inyección CRDI cuenta con una tecnología alta y un elevado costo, creando la necesidad de evaluar su comportamiento al utilizar una mezcla combustible diésel surfactantes de agua.

1.2 Planteamiento del problema

El constante desarrollo de los sistemas de inyección diésel CRDI requiere de combustibles que cumplan las exigencias de funcionamiento de los mismos. El desconocimiento del uso de surfactantes de agua como fuente energética y el desarrollo como carburante de una mezcla combustible en nuestro país, limita las investigaciones sobre la reducción de gases contaminantes.

La escasa investigación sobre los métodos de reducción de emisiones contaminantes en motores diésel y la falta de quipos que analicen el funcionamiento de

los sistemas CRDI, promueven la realización de investigaciones que logren determinar la factibilidad del uso de biocombustibles alternos en los sistemas de inyección diésel.

Existe la necesidad de investigar los efectos que determinan la durabilidad de los elementos del sistema de inyección CRDI usando mezclas combustibles ecológicas. Estos efectos se determinan bajo condiciones que se aproximan al máximo a situaciones reales de uso en el motor.

Mediante esta investigación se determina la factibilidad y viabilidad de usar la mezcla combustible. Verificando síntomas en el inyector y bomba de alta presión tales como: suciedad o desgaste que pueden alterar su correcto funcionamiento y perjudicar su vida útil.

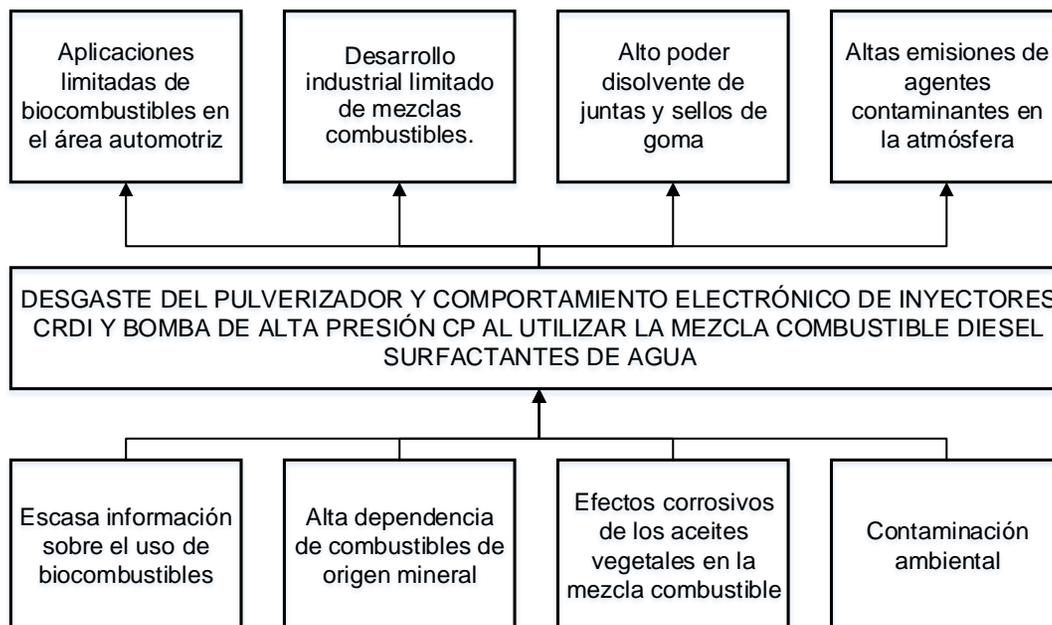


Figura 1. Árbol de problemas

1.3 Justificación e importancia

Uno de los principales ejes de la matriz productiva del país se basa en el desarrollo de biocombustibles que amplíen la oferta y reduzcan la dependencia del país de combustibles fósiles, la investigación de nuevas mezclas combustibles que permitan un desempeño óptimo de los sistemas automotrices actuales permiten brindar una solución para los problemas de contaminación ambiental, reduciendo las emisiones contaminantes producidas por los motores de combustión interna.

La reducida investigación que existe en nuestro país de los niveles de desgaste y el comportamiento de los materiales en el inyector y la bomba de alta presión CRDI 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.

(Pucuji, 2016) afirma: “El nivel de gases contaminantes generados por el diésel y por las emulsiones de combustible, estableciendo que todas las emulsiones generan menor cantidad de NOx, la emulsión diésel con el 5% de agua emite menor cantidad de NOx siendo de 184.5 ppm, frente a 472 ppm, emitidas por el diésel neto, ambas mediciones realizadas a la potencia máxima alcanzada por la prueba.”(p.175)

(Carrillo & Taco, 2018) señalan que: “Las emulsiones cumplen con la NORMA TÉCNICA ECUATORIANA INEN 2 207:2002 que indica el límite de emisión de CO. Los índices de CO no sobrepasan los 0,4 % Vol en ninguna de las emulsiones usadas en el motor MZR-D 2,5.”(p.149)

Dada la necesidad de utilizar combustibles que cumplan altos requerimientos de funcionamiento y aporten favorablemente a la conservación del estado de los materiales de fabricación de los elementos del inyector y bomba CRDI, se busca experimentalmente bajo un método científico una respuesta que valide la posibilidad de la producción y aplicación de combustibles alternativos utilizando surfactantes de agua en sistemas de inyección diésel CRDI.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Analizar el desgaste del pulverizador y comportamiento electrónico del inyector y bomba de alta presión del sistema de inyección CRDI al trabajar con mezcla combustible diésel surfactantes de agua para determinar la factibilidad de su aplicación como combustible en el sistema de inyección diésel.

1.3.2 Objetivos específicos

- Generar la mezcla combustible diésel surfactantes de agua al 20% de concentración, aplicando el proceso establecido en investigaciones anteriores.
- Realizar el protocolo de pruebas de durabilidad de los elementos internos del inyector y bomba de alta presión con la mezcla combustible en intervalos de 50, 100, 150 y 200 horas de funcionamiento.
- Realizar pruebas del comportamiento electrónico de inductancia. resistencia a la bobina y aislamiento del inyector Denso.
- Analizar el caudal de entrega, estanqueidad y caudal de retorno del inyector Denso en un banco de pruebas CRDI

- Verificar el estado de los componentes internos del inyector y la bomba de alta presión acorde a los períodos de trabajo establecidos
- Determinar los pesos de los componentes del inyector y bomba de alta presión al finalizar cada periodo de funcionamiento.
- Examinar la microestructura superficial de los principales componentes de desgaste de la bomba de alta presión e inyector con la ayuda de un rugosímetro.
- Visualizar la microestructura del embolo de mando, aguja y agujeros de la tobera del inyector mediante un microscopio.
- Analizar la durabilidad de los elementos del inyector y bomba de alta presión al trabajar con la mezcla combustible diésel surfactantes de agua mediante comparación de medidas.
- Establecer la factibilidad del uso de mezcla combustible diésel surfactantes de agua como fuente de energía alternativa.

1.4 Metas

- Desarrollar un módulo electrónico que permita la activación de los inyectores CRDI.
- Preparar la mezcla combustible diésel y surfactantes de agua a una concentración del 20%.
- Analizar el desgaste de los componentes internos del inyector y bomba de alta presión mediante el uso de la balanzas analíticas.
- Verificar la microestructura de los elementos de principal desgaste en el inyector CRDI con ayuda de un microscopio y Rugosímetro.

- Constatar la durabilidad de los materiales del sistema de inyección CRDI usando la mezcla combustible
- Determinar la factibilidad del uso de la mezcla combustible diésel - surfactantes de agua como fuente energética.

1.5 Hipótesis

La mezcla combustible diésel surfactantes de agua usada preservará las características de los materiales de fabricación del inyector CRDI y bomba de alta presión Denso, sin afectar la vida útil del sistema CRDI.

1.6 Variables de investigación

1.6.1 Variable independiente

Durabilidad de los componentes del sistema de inyección.

Tabla 1

Variable independiente: Durabilidad de los componentes

Concepto	Categoría	Indicador	Ítem	Técnicas	Instrumentos
Parámetros de medición de la superficie en contacto por fricción.	Académico	Abrasión	%	Observación	Protocolo de prueba
	Tecnológico	Corrosión	%	Observación	Protocolo de prueba
		Desgaste	%	Observación	Protocolo de prueba
		Rugosidad	μm	Medición	Protocolo de prueba
		Masa	gr	Medición	Protocolo de prueba

CONTINÚA



Parámetros de funcionamiento del inyector	Académico Tecnológico	Intensidad	A	Medición	Protocolo de prueba
		Período	ms	Medición	Protocolo de prueba
	Voltaje	V	Medición	Protocolo de prueba	
	Caudal	m^3/s	Medición	Protocolo de prueba	
	Tiempo de prueba	h	Medición	Protocolo de prueba	
	Presión	Psi	Medición	Protocolo de prueba	

1.6.2 Variable dependiente

Mezcla combustible obtenida a partir de la mezcla diésel - surfactantes de agua.

Tabla 2

Variable dependiente: Mezcla combustible obtenida a partir de la mezcla diésel - surfactantes de agua

Concepto	Indicador	Ítem	Técnicas	Instrumentos	
Preparación obtenida por la combinación de	Académico	Densidad	g/cm^3	Verificación	Protocolo de prueba
	Tecnológico	Punto de inflamación	°C	Verificación	Protocolo de prueba

CONTINÚA 

diésel, agua con ácido oleico, Nonil fenol 6 moles y kolliphor.	Viscosidad cinemática	sCt	Verificación	Protocolo de prueba
	Índice de cetano	-	Verificación	Protocolo de prueba
	Poder calorífico	<i>MJ/Kg</i>	Verificación	Protocolo de prueba
	Balance hidrofílico	BHL	Verificación	Protocolo de prueba
	Punto nube	°C	Verificación	Protocolo de prueba
	Azufre	%	Verificación	Protocolo de prueba

1.7 Metodología de la investigación

Para la investigación se utiliza diversos métodos y técnicas generales para las diversas ramas de la ciencia, para el proceso de investigación se utiliza procedimientos con mayor o menor énfasis, al momento de su desarrollo los métodos que se aplican son la deducción, la síntesis, la inducción, el análisis, lo experimental, y la comparación de resultados para el desarrollo de la investigación. (Ruiz, 2007, p.13)

• Método experimental

Con la ayuda de este método se realizó pruebas para obtener los parámetros de funcionamiento del inyector, además que con el desarrollo y la técnica del conocimiento humano, equipos de diagnóstico se realizaron pruebas y ensayos para obtener medidas de desgaste y variación del comportamiento eléctrico del inyector CRDI y de la bomba de alta presión Denso.

- **Método deductivo**

El análisis deductivo permitió analizar según resultados obtenidos de las diferentes pruebas de desgaste del pulverizador, pruebas eléctricas, resultados del banco de pruebas, de los inyectores y de la bomba de alta presión, la viabilidad del uso de la mezcla combustible diésel surfactantes de agua en los sistemas de inyección CRDI.

- **Método inductivo**

Este método permitió estimar el desgaste y los efectos que se obtienen al utilizar la emulsión de diésel – surfactantes de agua en el pulverizador y componentes internos del inyector y bomba de alta presión CRDI a través de herramientas tecnológicas que permitieron establecer un patrón de comportamiento de los elementos.

- **Método comparativo**

Para la investigación el método comparativo, permitió establecer las variaciones de los parámetros con ayuda de los resultados analizados, basándose en datos y mediciones luego de cada protocolo de prueba a cada elemento, y de esta manera establecer los elementos de principal desgaste.

- **Método científico.**

En la investigación el método científico permitió tabular lo experimentado en base a un razonamiento técnico y científico, en donde se obtuvieron resultados contundentes en base a pruebas delimitadas por protocolos con la mezcla combustible, analizando los elementos internos del inyector y bomba de alta presión, para determinar su durabilidad.

- **Método de síntesis**

El método de síntesis permitió en el transcurso de los diferentes ciclos de pruebas, establecer distintos ensayos para observar que sucedía con el inyector y bomba a prueba, analizando el desgaste y el aspecto que presenta cada elemento luego de cada ciclo de trabajo.

- **Método de la medición**

Mediante el método de medición se obtuvo la asignación de valores numéricos a los diferentes análisis realizados al inyector y bomba de alta presión. Estos valores se lograron obtener con la ayuda de herramientas y banco de pruebas, en donde los resultados permitieron observar la existencia de variaciones luego de cada protocolo de prueba.

Tabla 3

Metodología, instrumentación y laboratorios donde se llevó a cabo el proyecto

Metodología	Descripción	Equipo	Laboratorio
Método Deductivo	Esta investigación fue deductiva ya que se analizó según resultados obtenidos del desgaste del pulverizador de los inyectores y elementos internos de la bomba de alta presión, la viabilidad del uso de la mezcla combustible diésel surfactantes de agua.	<ul style="list-style-type: none"> • Microscopio XJL-17AT • Rugosímetro CMSRT210 • Balanza analítica ADAM • Banco de pruebas SPEEDMAQ S40 	Laboratorio de Materiales de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE extensión Latacunga

CONTINÚA 

Método Inductivo	Este método permitió estimar el desgaste y los efectos que se podrá obtener si se utiliza la emulsión de diésel – surfactantes de agua en el pulverizador y componentes internos del inyector y bomba de alta presión CRDI	<ul style="list-style-type: none"> • Microscopio XJL-17AT • Rugosímetro CMSRT210 • Balanza analítica ADAM • Banco de pruebas SPEEDMAQ S40 	Laboratorio de Materiales de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE extensión Latacunga
Método Comparativo	Para esta investigación el método comparativo permitió establecer variaciones de los parámetros analizados basándose en datos y mediciones realizadas al término de cada ciclo de trabajo.	<ul style="list-style-type: none"> • Microscopio XJL-17AT • Rugosímetro CMSRT210 • Balanza analítica ADAM • Banco de pruebas SPEEDMAQ S40 	Laboratorio de Materiales de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE extensión Latacunga
Método de Medición	Mediante el método de medición se obtuvo la asignación de valores numéricos a los diferentes análisis realizados al inyector y bomba de alta presión.	<ul style="list-style-type: none"> • Microscopio XJL-17AT • Rugosímetro CMSRT210 • Balanza analítica ADAM • Banco de pruebas SPEEDMAQ S40 	<p>Laboratorio de Materiales de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE extensión Latacunga</p> <p>Laboratorio de Motores de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE extensión Latacunga</p> <p>Laboratorio de motores diésel Full diésel Valencia</p>



Método Científico	El método científico permitió tabular lo experimentado en base a un razonamiento técnico y científico, en donde se obtuvieron resultados contundentes en base a pruebas delimitadas por protocolos con la mezcla combustible	<ul style="list-style-type: none"> • Microscopio XJL-17AT • Rugosímetro CMSRT210 • Balanza analítica ADAM • Banco de pruebas SPEEDMAQ S40 	<p>Laboratorio de Materiales de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE extensión Latacunga</p> <p>Laboratorio de Motores de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE extensión Latacunga</p>
Método de Síntesis	El método de síntesis permitió en el transcurso de los diferentes ciclos de pruebas, establecer distintos ensayos para observar que sucedía con el inyector y bomba a prueba	<ul style="list-style-type: none"> • Microscopio XJL-17AT • Rugosímetro CMSRT210 • Balanza analítica ADAM • Banco de pruebas SPEEDMAQ S40 	<p>Laboratorio de Materiales de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE extensión Latacunga</p> <p>Laboratorio de Motores de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE extensión Latacunga</p>

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Sistema de inyección CRDI

El sistema Common Rail proporciona una elevada flexibilidad a la adaptación de la inyección al motor, por medio de:

- Alta presión de inyección desde 1600 bar hasta 1800bar
- Presión de inyección en funcionamiento varía entre 200 a 1800 bar.
- Inyección variable al inicio.
- Inyección piloto

El sistema Common Rail ha sido diseñado para cumplir las siguientes funciones:

- Aumentar la potencia específica
- Reducir el consumo de combustible
- Disminuir las emisiones de gases contaminantes nocivos
- Reducir los ruidos característicos de los motores Diésel.

2.1.1 Configuración del sistema CRDI

(Denso Corporation, 2004) Afirma: “El sistema de control de rampa común se puede dividir en líneas generales en las cuatro áreas siguientes: sensores, ECU del motor, EDU y actuadores” (p.6). A continuación una descripción breve de esas aéreas:

- **Sensores:** Detectan el estado del motor y de la bomba

- **ECU del motor:** Recibe señales de los sensores, calcula la cantidad y el calado de inyección adecuados para un funcionamiento óptimo del motor y envía las señales apropiadas a los actuadores
- **EDU:** Posibilita la activación de los inyectores a regímenes altos. También hay algunos tipos con circuito de carga dentro de la ECU que tienen la misma función que la EDU, por lo que no hay EDU en estos casos
- **Actuadores:** Proporcionan la cantidad y el calado de inyección óptimos según las señales recibidas desde la ECU del motor

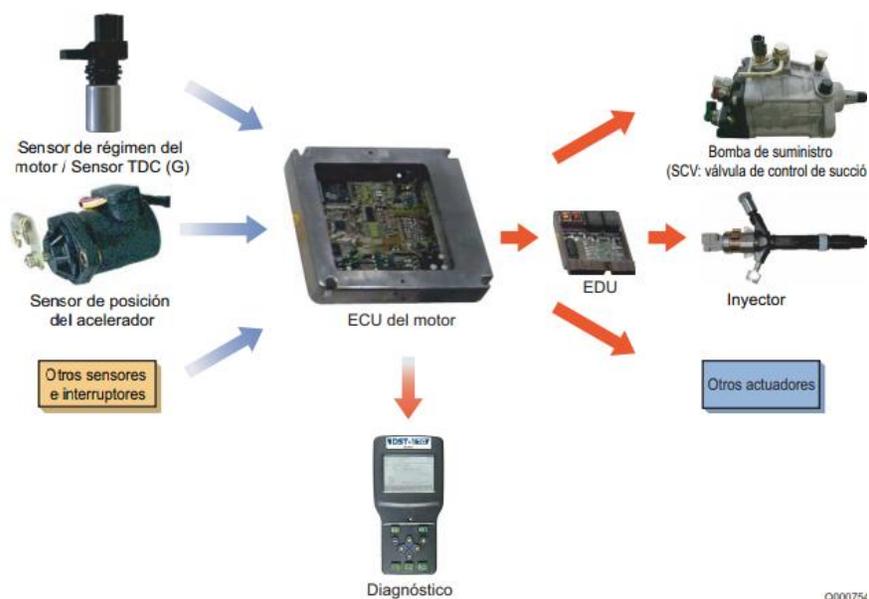


Figura 2. Clasificación de las líneas generales del sistema CRDI

Fuente: (Denso Corporation, 2004)

2.1.2 Componentes del sistema CRDI

El sistema está formado por elementos importantes tales como; bomba de alta presión, conducto común e inyectores, cada uno cumple su función para que se desempeñe de manera correcta el sistema.

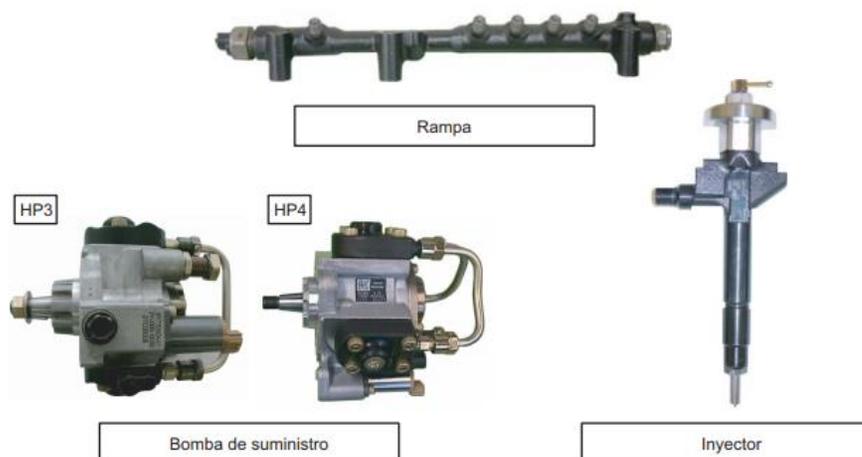


Figura 3. Vista exterior de los principales componentes del sistema

Fuente: (Denso Corporation, 2004)

2.2 Bomba de alta presión tipo HP3

“Este sistema utiliza una bomba de suministro de tipo HP3 que es compacta, pesa poco y proporciona una presión más alta. Se monta sobre todo en vehículos de pasajeros y en camiones pequeños” (Denso Corporation, 2004, p.9).

2.2.1 Constitución

La bomba de suministro se compone principalmente de la unidad de bomba (leva excéntrica, leva anular, dos émbolos buzo), la SCV (válvula de control de succión), el sensor de temperatura del combustible y la bomba de alimentación (tipo trocoide), y se activa con una rotación o con media rotación del motor. Los dos émbolos buzo de la

unidad de bomba compacta están colocados simétricamente por encima y por debajo de la parte exterior de la leva anular. (Denso Corporation, 2004, p.25)

(Denso Corporation, 2004) menciona: “La SCV controla el volumen de descarga del combustible, con el fin de reducir la carga de actuación y evitar la subida de temperatura del combustible. Además, hay dos tipos de SCV de HP3”: (p.26)

- normalmente abierto (la válvula de succión se abre cuando no está excitada)
- normalmente cerrado (la válvula de succión se cierra cuando no está excitada).

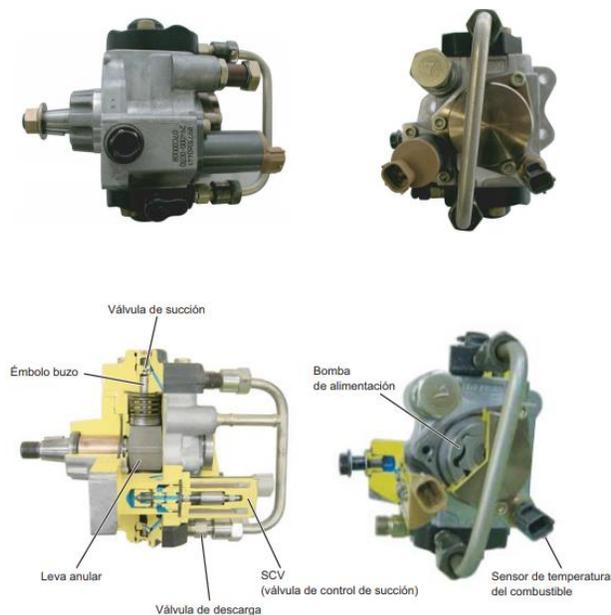


Figura 4. Partes de la bomba HP3

Fuente: (Denso Corporation, 2004)

2.2.2 Despiece

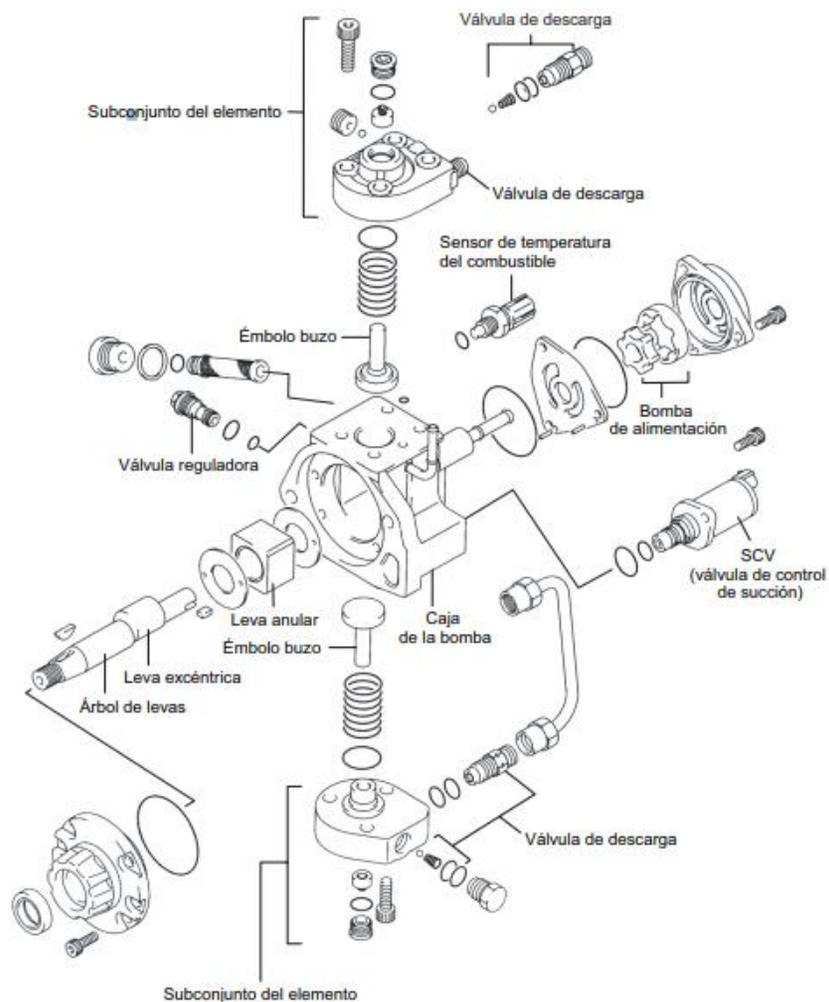


Figura 5. Despiece de la bomba HP3

Fuente: (Denso Corporation, 2004)

2.2.3 Funciones de las piezas

En la tabla 4 se detalla la función que cumple cada pieza que constituye la bomba de alta presión tipo HP3

Tabla 4

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 y mantiene la presión en el conducto común, basándose en el estado de carga del motor.
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)

2.3 Conducto común

(Denso Corporation, 2004). La función de la rampa es distribuir el combustible a presión a cada inyector de cilindro mediante la bomba de suministro. La forma de la rampa depende del modelo y las piezas componentes varían en consonancia.

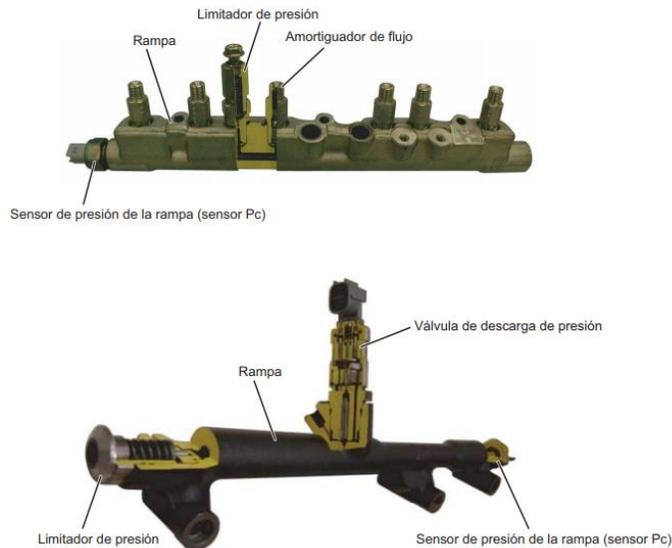


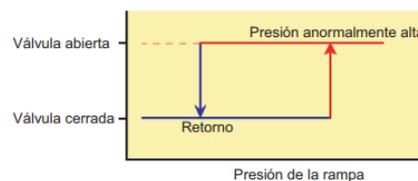
Figura 6. Componentes del conducto común

Fuente: (Denso Corporation, 2004)

Tabla 5

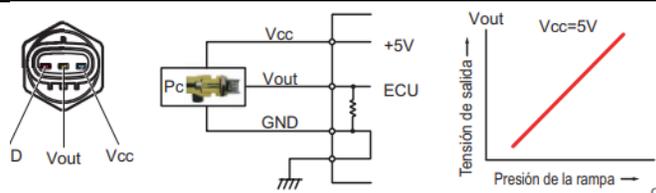
Funciones de cada componente del conducto común

Piezas componentes	Funciones
Rampa	Almacena el combustible a presión bombeado por la bomba de suministro y distribuye el combustible a cada inyector de cilindro.
Limitador de presión	Abre la válvula para liberar la presión si ésta es anormalmente alta en la ramba.
Sensor de presión de la ramba (sensor Pc)	Detecta la presión del combustible de la ramba



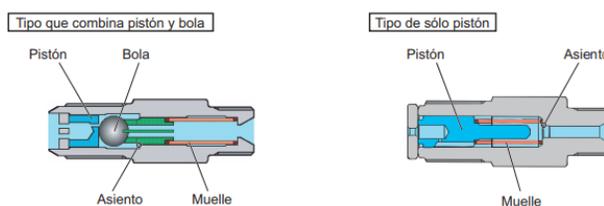
CONTINÚA





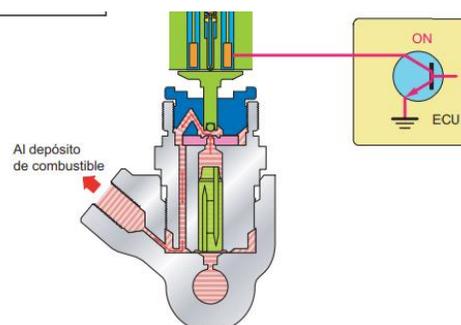
Reduce las pulsaciones de la presión del combustible de la rampa. Si el combustible fluye hacia fuera en exceso, el amortiguador cierra el conducto de combustible para evitar que siga fluyendo. Se utiliza sobre todo en los motores de vehículos grandes.

Amortiguador de flujo



Controla la presión del combustible de la rampa. Se utiliza sobre todo en los motores de vehículos de pasajeros.

Válvula de descarga de presión



Fuente: (Denso Corporation, 2004)

2.4 Inyector

(Denso Corporation, 2004, p.47) afirma: El inyector inyecta el combustible a presión de la rampa en la cámara de combustión del motor al calado, volumen, relación y modelo de inyección óptimos, en función de las señales de la ECU. La inyección se controla utilizando una TWV (válvula de dos vías) y un orificio. La TWV controla la presión

de la cámara de control para controlar el principio y el final de la inyección. El orificio controla la relación de inyección moderando el régimen en el cual se abre la tobera.

El pistón de mando abre y cierra la válvula al transmitir la presión de la cámara de control a la aguja de la tobera. Cuando la válvula de la aguja de la tobera se abre, la tobera pulveriza el combustible y lo inyecta. (p.47).

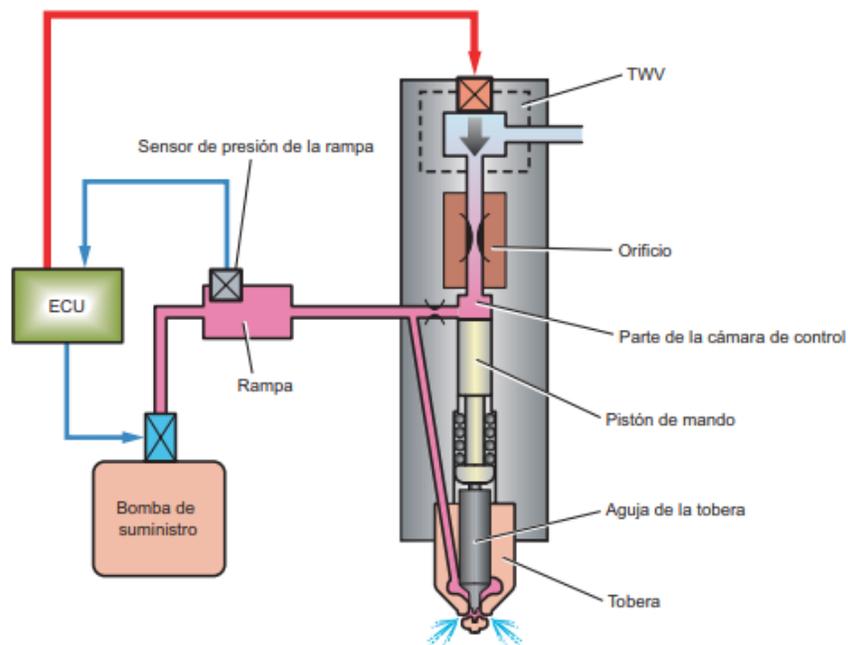


Figura 7. Partes del inyector

Fuente: (Denso Corporation, 2004)

2.4.1 Constitución

El inyector consiste en una tobera y porta tobera, un orificio que controla la relación de inyección, el émbolo de mando y una válvula electromagnética de dos vías.

Se clasifican los inyectores en 3 tipos:

- Tipo X1: El control de precisión se logra mediante el control electrónico de la inyección. La TWV consta de dos válvulas: la válvula interior (fija) y la válvula exterior (móvil). (Denso Corporation, 2004, p.48)

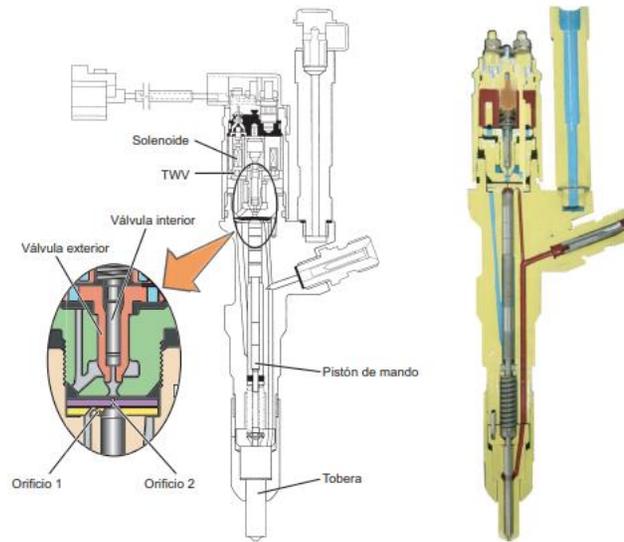


Figura 8. Inyector tipo X1

Fuente: (Denso Corporation, 2004)

- Tipo X2; Al reducir la carga de actuación del inyector, éste se ha hecho más compacto y eficaz en cuanto a la energía, a la vez que se ha mejorado la precisión de la inyección. La TWV abre y cierra directamente el orificio de salida. (p.48)

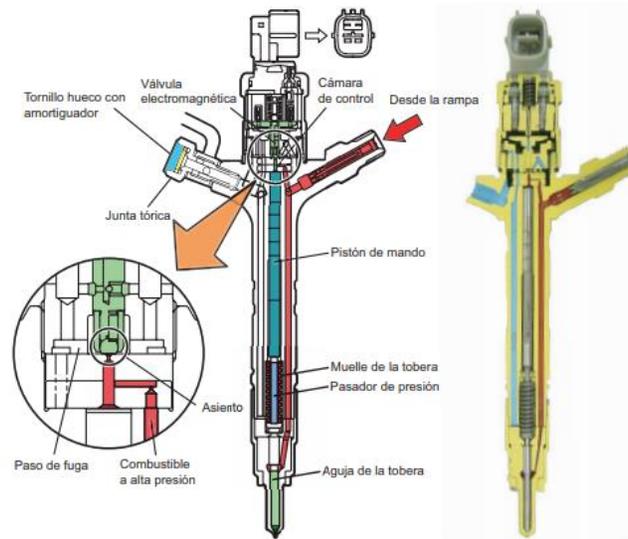


Figura 9. Inyector tipo X2

Fuente: (Denso Corporation, 2004)

- Tipo G2: Para asegurar una presión alta, el tipo G2 ha mejorado la fuerza de la presión, el rendimiento del sellado y la resistencia del desgaste de la presión. Ha mejorado también el funcionamiento a un régimen alto, haciendo posible un control de la inyección más preciso y la inyección múltiple. (p.48)

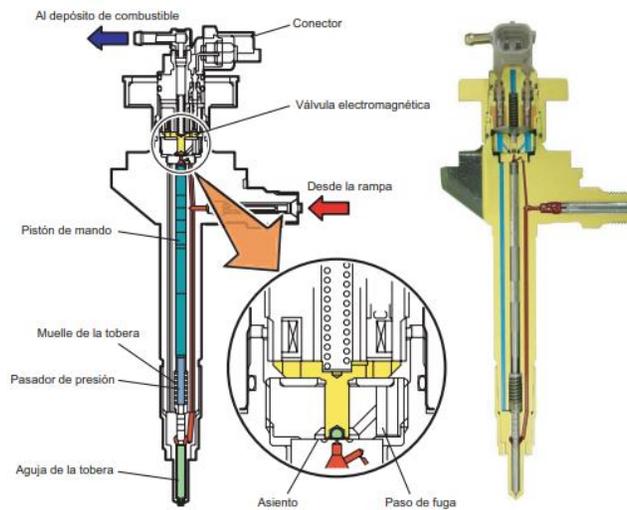


Figura 10. Inyector tipo G2

Fuente: (Denso Corporation, 2004)

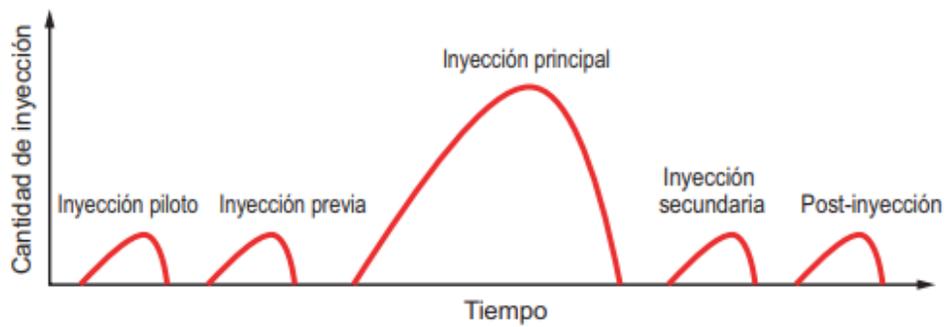


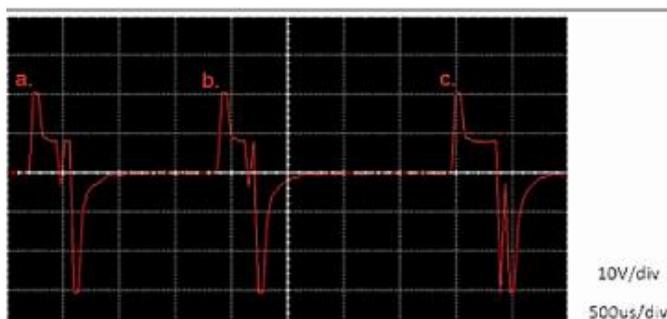
Figura 11. Modelo con 5 inyecciones

Fuente: (Denso Corporation, 2004)

Tabla 6*Modelo con 5 inyecciones*

Inyecciones	Descripción
Inyección piloto	Sucede antes de la ignición, proporciona tiempo para que el combustible y el aire se mezclen.
Pre -inyección	Reduce el retardo del encendido durante la inyección principal de esta manera reduce la generación de óxido de nitrógeno (NOx). Disminución de ruido característico y las vibraciones del motor
Inyección principal	Proporciona el combustible para la potencia y combustión.
Inyección posterior	Se produce una fracción de segundo después de la inyección principal y vuelve a quemar partículas restantes
Post -inyección	Ayuda a gestionar la temperatura de los gases de escape, lo que hace que el procesamiento de escape en el ciclo de tratamiento posterior del motor más eficaz.

Oscilograma del inyector en el momento de inyección piloto

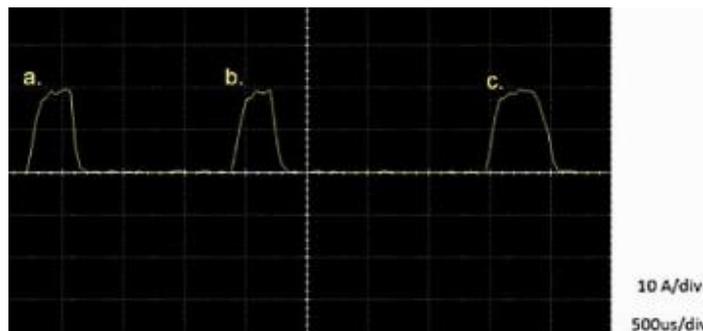


a. Pre inyección, b. Inyección principal, c. Post inyección

Figura 12. Oscilograma de voltaje de un inyector diésel CRDI

Fuente: (Bombón & Chalco, 2016)

Oscilograma de corriente de inyector en el momento de la inyección piloto:



a. Pre inyección, b. Inyección principal, c. Post inyección

Figura 13. Oscilograma de corriente de un inyector diésel CRDI

Fuente: (Bombón & Chalco, 2016)

2.4.2 Funcionamiento del inyector

(Denso Corporation, 2004) Menciona: El inyector controla la inyección a través de la presión del combustible de la cámara de control. La TWV lleva a cabo el control de fugas de combustible en la cámara de control para controlar la presión del combustible dentro de esa cámara. La TWV varía según el tipo de inyector. (p.51)

- **Sin inyección**

Cuando la TWV no está excitada, cierra el paso de fuga desde la cámara de control, de forma que la presión del combustible de la cámara de control y la presión del combustible que se aplica a la aguja de la tobera sean la misma presión de la rampa. Así, la aguja de la tobera se cierra debido a la diferencia entre el área de la superficie sometida a presión del pistón de mando y la fuerza del muelle de la tobera, y el combustible no se inyecta. En los tipos X2 y G2, el orificio de salida de la cámara de control se cierra directamente por la fuerza del muelle. (Denso Corporation, 2004, p.51)

- **Inyección**

Cuando empieza la excitación de la TWV, esta válvula se levanta, abriendo el paso de fuga de la cámara de control. Cuando este paso de fuga se abre, el combustible de la cámara de control sale y la presión baja. Debido a la caída de presión dentro de la cámara de control, la presión de la aguja de la tobera vence la fuerza que la aprieta hacia abajo, la aguja es empujada hacia arriba y empieza la inyección. Cuando hay fugas de combustible desde la cámara de control, el volumen del flujo se restringe mediante el orificio, de modo que la tobera se abre gradualmente. La relación de inyección sube cuando la tobera se abre. Al continuar aplicando corriente a la TWV, llega un momento en que la aguja de la tobera alcanza la elevación máxima, lo que da como resultado la máxima relación de inyección. El combustible excedente vuelve al depósito de combustible a través del camino mostrado. (Denso Corporation, 2004, p.51)

- **Final de inyección**

Cuando termina la excitación de la TWV, la válvula desciende, cerrando el paso de fuga de la cámara de control. Cuando se cierra el paso de fuga, la presión del combustible dentro de la cámara de control vuelve instantáneamente a la presión de rampa, la tobera se cierra de repente y la inyección se detiene. (Denso Corporation, 2004, p.51)

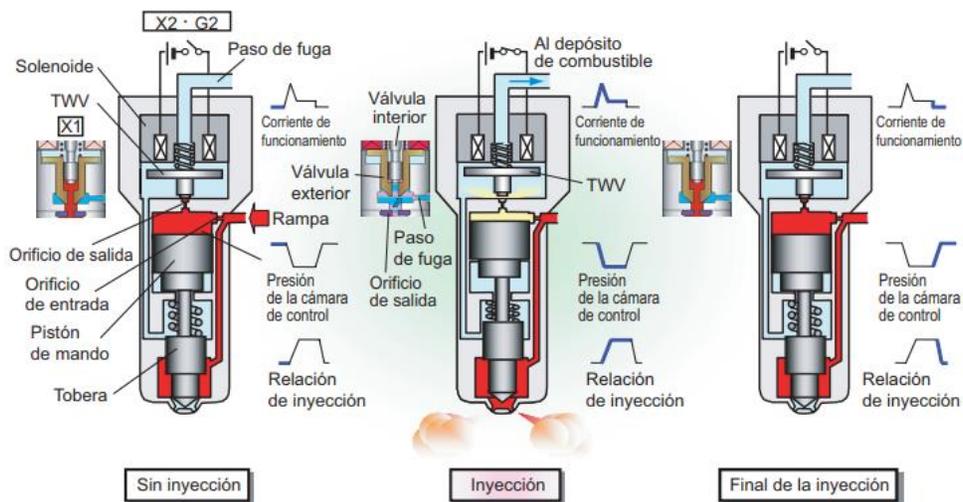


Figura 14. Funcionamiento del inyector

Fuente: (Denso Corporation, 2004)

Para mejorar la respuesta del inyector se ha cambiado la tensión de funcionamiento a alta tensión, lo que acelera tanto la magnetización del solenoide como la respuesta de la TWV. La EDU del circuito de carga de la ECU aumenta la respectiva tensión de la batería a aproximadamente 110V, lo que suministra al inyector la señal de la ECU para activarlo. (Denso Corporation, 2004, p.52)

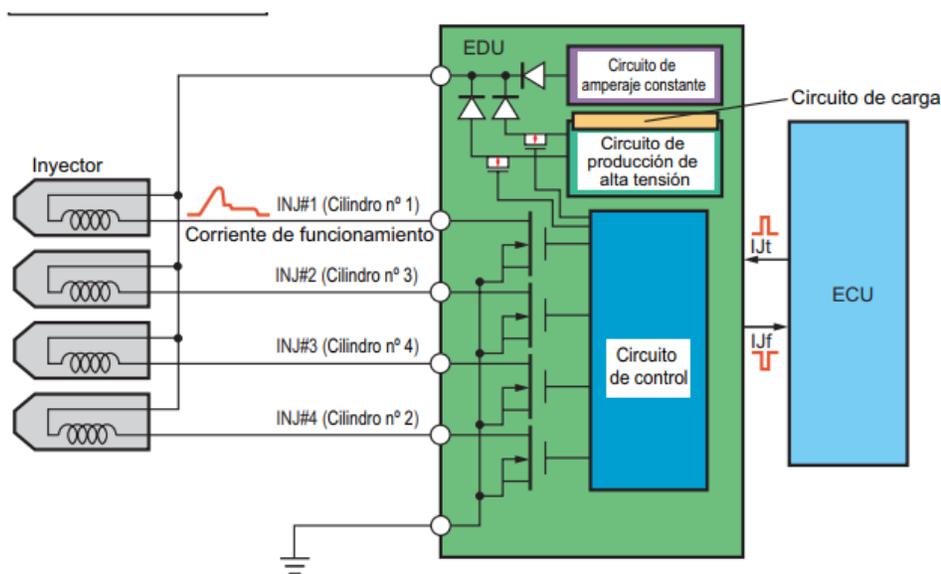


Figura 15. Funcionamiento de la EDU

Fuente: (Denso Corporation, 2004)

Tabla 7

Fases y valores

Fase	Corriente	Voltaje
Apertura	20 A	80 V
Mantenimiento	15 A	50 V

2.4.3 Características constructivas para inyectores diésel common rail

(Smith & Hashemi, 2006), afirman que “Dentro de los materiales de fabricación de piezas automotrices se encuentran el hierro y sus aleaciones, estos representan casi 90 por ciento de la producción mundial de metales, sobre todo por su satisfactoria combinación de resistencia, tenacidad y ductilidad a costo relativamente bajo” (p. 359).

a. Aceros de Nitruración

(Besante & Jubera, 1985), establecen que: “Los aceros de nitruración se encuentran el 34 CrAl6, están aleados con Cr y Al y reciben una dureza superficial con nitrógeno. Los aceros al cromo de elevado porcentaje son resistentes a la corrosión y también aptos para nitruración. Los aceros de nitruración se emplean para piezas que no deban sufrir deformación en el tratamiento térmico y que no hayan de ser trabajadas posteriormente”.

b. Nitruración

Según (Besante & Jubera, 1985): el tratamiento superficial mediante la introducción de nitrógeno (N) en la capa externa se define como nitruración. El proceso de nitruración contempla dos tipos que se define a continuación:

- Nitruración en baño.

La aplicabilidad está dada para aceros aleados y sin alear. El proceso consta de calentar las piezas en aprox. 400 °C e introducir en un baño de sales que contenga cianógeno y con temperaturas de 500 °C a 570 °C entre 60 y 120 minutos.

- Nitruración por gas.

Su aplicación se limita en aceros especiales aleados con Cr y Al. El proceso consta de calentar durante 1 a 4 días en un horno calentado eléctricamente las piezas entre 400 °C a 530 °C a la acción de una corriente de gas amoníaco (NH₃). Esto produce una gran dureza sin enfriamiento brusco posterior.

La aplicación del proceso de nitruración en piezas o partes de máquinas expuestas a altas temperaturas es amplia, debiendo no obstante permanecer duras y resistentes al

desgaste, como por ejemplo camisas de cilindros, válvulas, árboles cigüeñales y árboles de levas, pernos de pistón, ruedas dentadas y calibres.

2.5 Pruebas y control de inyectores

Para verificar el correcto funcionamiento del inyector es necesario someterle a varias pruebas .El autor (Alonso, Técnicas del automovil. Motores, 2001) afirma: La comprobación de inyectores se debe realizar en intervalos de mantenimiento prescritos o cuando se detecte un anormal funcionamiento en los mismos. Los síntomas típicos del mal funcionamiento de los inyectores son las emisiones de humos negros por el escape, la falta de potencia del motor, calentamiento excesivo, además de un aumento del consumo de combustibles y ruido de golpeteo.

2.5.1 Prueba de estanqueidad

Consiste en ver hasta qué punto el inyector cierra de modo que no presenta fugas a valores de presión ligeramente por debajo de su presión de funcionamiento. Se realiza de la siguiente manera: Se baja lentamente la palanca de accionamiento de la bomba observando el valor que progresivamente va indicando el manómetro. Cuando este valor es de entre 20 a 15 atm, menor que el valor de presión de funcionamiento, se interrumpe la carrera de la palanca y se cierra la válvula de desconexión del manómetro de modo que la presión se mantenga en el circuito hidráulico interior del inyector. En estas condiciones, si la aguja cierra perfectamente sobre su asiento, el inyector no debe gotear y ni siquiera hallarse húmedo por la punta. Ello será señal de una perfecta estanqueidad. (De Castro Vicente, 1987, p.305)

(Alonso, 2001) afirma: "Que la falta de estanqueidad implica el desmontaje y limpieza del inyector, principalmente la superficie donde se asienta la aguja. Si con esta operación no se corrige el goteo, deberá sustituirse la tobera".

2.5.2 Prueba de fuga de retorno

La cantidad de retorno de combustible que el inyector produce es un indicador del sellado interno y la condición del inyector. Cualquier problema con el sellado de la válvula del solenoide o la aguja de la tobera se desenmascaran o se muestran en forma de mucho retorno. Usualmente, si una cantidad alta de retorno es experimentada será vista en cada test y puede indicar problemas en el asiento de la válvula, problemas en la válvula del solenoide y sellado de la tobera o problemas de desgaste. (Morales, 2015)

(Alonso, 2001) afirma que: La fuga de retorno indica la cantidad de combustible que sale entre la varilla de la válvula de aguja y el cuerpo de la tobera, hacia el retorno. Esta fuga debe existir en una cierta proporción, para lubricar estos componentes Si es pequeña, indica una escasa holgura entre la aguja y la tobera, insuficiente para la lubricación, lo que ocasionara probablemente el agarrotamiento de la tobera. Si la fuga es excesiva, indica mayor holgura de la necesaria y, en ese caso, deberá sustituirse o repararse la tobera.

2.5.3 Prueba de entrega de combustible

(Morales, 2015) menciona: En esta prueba se verifica netamente los flujos de trabajo del inyector, si los resultados del flujo de un inyector reparado o usado son estimados como fuera de especificación cuando se comparan con un resultado de test de un inyector nuevo, entonces, las entregas de combustible pueden ser alteradas

cambiando los calces de calibración (calibration shim) el cual se asienta entre el solenoide y el cuerpo del inyector. (p.3)

2.5.4 Prueba de pulverización y dirección del chorro.

Cuando se desconecta el manómetro de la bomba de pruebas el valor de la presión no tiene interés para esta prueba, pero se debe accionar la palanca de la bomba de una manera breve y enérgica aproximadamente 2 veces por segundo. (De Castro V, 1987, p. 307)

(Alonso, 2001) afirma “Cuando la cadencia de bombeo es rápida, el chorro será neto, finamente pulverizado en forma de nube y formado un cono perfectamente centrado en el eje de simetría del inyector, como muestra el detalle A de la figura 16. Ligeras desviaciones del chorro, pero con buena pulverización B son aceptables. Un flujo sólido, con gotitas, escasas pulverización y fuertes desviaciones C resulta inaceptable producido por depósitos de carbonilla en la tobera. Bajas presiones de tarado dan un chorro de escasa dispersión, como el que muestra en el detalle D.

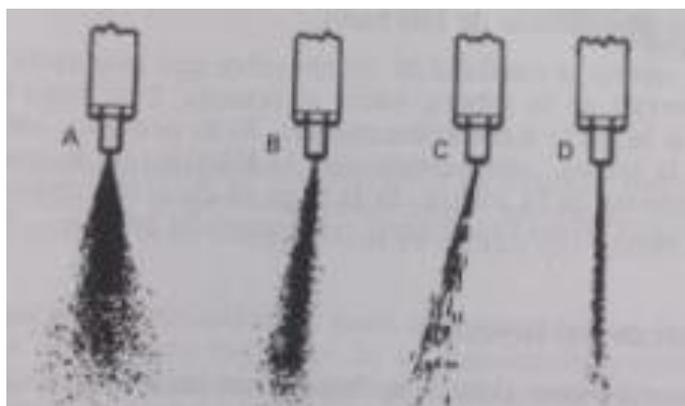


Figura 16. Tipos de pulverización

Fuente: (Alonso, 2001)

2.6 Combustible diésel

Según (Carrillo & Sedano, 2017): “El diésel, también conocido como gasóleo o gasoil, es un hidrocarburo líquido que se obtiene principalmente de la destilación del petróleo a una temperatura entre los 200°C y 380 °C”.

En Ecuador la norma NTE INEN 1489 (2002) establece la comercialización de tres tipos de diésel:

- **Diésel No.1**

Este combustible se limita únicamente al uso en aparatos de combustión externa industriales o domésticos.

- **Diésel No.2**

El combustible es aplicado en los siguientes sectores: industrial pesquero, naviero, quedando fuera el uso para la industria automotriz, a continuación, los requisitos específicos que debe tener el diésel No.2 a nivel nacional:

Tabla 8

Requisitos del diésel No. 2

Requisitos	Unidad	Mínimo	Máximo	Método de ensayo
Punto de inflamación	°C	51	-	NTE INEN 1 047
Agua y sedimento	% en volumen	-	0,05	NTE INEN 1 494
Residuo carbonoso sobre el 10 % del residuo de la destilación	% en peso	-	0,15	NTE INEN 1 491
Cenizas	% en peso	-	0,01	NTE INEN 1 492

CONTINÚA



Temperatura de destilación del 90 %	°C	-	360	NTE INEN 926
Viscosidad cinemática a 37,8 °C	cSt	2,5	6,0	NTE INEN 810
Azufre	% en peso	-	0,05	NTE INEN 1 490
Corrosión a la lámina de cobre	-	-	No. 3	NTE INEN 927
Índice de cetano calculado	-	45		NTE INEN 1 495

Fuente: INEN, 2016.

- **Diésel Premium**

Este combustible es aplicado exclusivamente en motores de auto ignición para la propulsión del parque automotor a nivel nacional.

2.6.1 Propiedades del combustible diésel

- **Densidad**

(Payri & Desantes, 2013) menciona: “La densidad es la masa de una sustancia contenida por unidad de volumen de un fluido, incluso si el combustible es líquido, su densidad depende de la presión y mayor medida de la temperatura” (p. 401).

- **Volatilidad**

(Alonso, 2001) afirma: Es la propiedad que tiene el fluido para difundirse en el aire al estar en contacto con el medio ambiente, es decir, su evaporación. Para determinar qué tan volátil es un fluido, se lo somete a una fuente de calor y ver su evaporación. Investigaciones anteriores demuestran que el diésel es menos volátil que la gasolina.

- **Peso específico**

Esta prueba compara el peso de un determinado volumen del fluido con respecto al del agua, como resultado, el diésel es más ligero que el agua. En parámetros de funcionamiento, el peso específico es un aspecto importante para el funcionamiento del motor de combustión interna, debe ser lo suficientemente pesado para lograr la penetración en la cámara de combustión. (Alonso, 2001)

- **Viscosidad**

(Ralbovsky, 2000) afirma; La viscosidad del diésel afecta directamente al modelo o patrón de pulverización del combustible en la cámara de combustión y a los componentes del sistema de inyección, el combustible de mayor viscosidad producirá gotas mayores que se queman con mayor dificultad, por el contrario si el combustible tiene una viscosidad baja este se inyecta como neblina fina fácilmente inflamable, cabe resaltar también que, si la viscosidad es demasiado baja, no se produce una buena lubricación ni se enfría la bomba de inyección y las toberas. (p. 42)

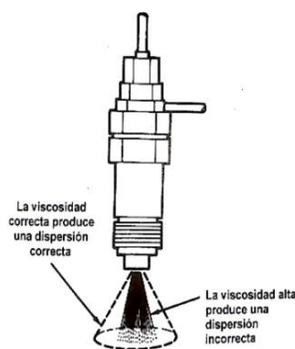


Figura 17. Modelo de pulverización

Fuente: (Ralbovsky, 2000)

- **Poder calorífico**

(Payri & Desantes, 2011) concluye: Es la expresión del contenido energético de un combustible lo define como la energía liberada en forma de calor en la combustión estequiometria de una unidad de masa de combustible, donde los productos quemados quedan en las mismas condiciones de temperatura y presión (o presión y volumen) que los reactivos iniciales. Siendo que los combustibles forman agua después de la combustión, el proceso de combustión real variara si el agua está en estado líquido o gaseo siendo la diferencia el calor latente de vaporización del agua. (p. 361).

- a. **Poder calorífico superior**

(Payri & Desantes, 2011), mencionan: Este se obtiene cuando los gases producto de la combustión se encuentran a una temperatura inferior a la de condensación, se y se puede asumir que el agua formada condensa totalmente y esta ha cedido su calor latente de vaporización (p. 53).

- b. **Poder calorífico inferior**

Este se genera cuando el agua producto de la combustión no condensa por lo tanto su calor latente no se ha liberado en el proceso de condensación, en otras palabras es el que se obtendría si el agua de los productos permanece en la fase de vapor (Payri & Desantes, 2011, p.53).

- **Cetanaje**

El número de cetano representa el retardo de la ignición. El cetano es un hidrocarburo parafínico con óptima facilidad de ignición alcanzando un valor de 100. El diésel normal tiene un número de cetano comprendido entre 40 y 70. (Alonso, 2001)

2.6.2 Biocombustible

Es un combustible producido a partir de materias de base renovables, como los aceites vegetales, que se puede usar en los motores diésel. Químicamente constituyen ésteres de alquilo, de metilo y de etilo, con cadenas largas de ácidos grasos. Estas cadenas, al estar oxigenadas, le otorgan al motor una combustión mucho más limpia. Se encuentra registrado como combustible y como aditivo para combustibles en la Agencia de Protección del Medio Ambiente (Environment Protection Agency (EPA)) en los Estados. (Stratta, 2000, p.3)

2.7 Surfactantes

(Bernabé, 2007), explica: “Los surfactantes son compuestos que se concentran o acumulan en la interface entre dos medios, alterando la tensión superficial. Los surfactantes poseen una constitución molecular típica, esencialmente lineal y asimétrica, con dos zonas, una hidrófoba y otra hidrófila”.

(Holmberg, Jönsson, Kronberg, & Lindman, 2003), menciona: Surfactante es una abreviación para agente activo de superficie, que literalmente es un medio activo en una superficie. En otras palabras, un emulsionante o surfactante es caracterizado por su tendencia para absorber a superficies e interfaces (p.1). El término interface denota a una frontera o límite entre dos fases inmiscibles cualquiera; el término superficie indica que

una, de las fases es un gas, usualmente aire. Existen completamente cinco diferentes interfaces:

- Sólido – vapor (superficie)
- Sólido – líquido
- Sólido – sólido
- Líquido – vapor (superficie)
- Líquido – líquido

Ejemplos de diferentes interfaces y productos, en que estas interfaces son importantes:

Tabla 9

Tipos de surfactantes

Interface	Tipo de sistema	Producto
Sólido – líquido	Suspensión	Solvente de Pintura
Líquido – líquido	Emulsión	Leche, crema
Líquido – Vapor	Espuma	Crema de afeitado

Fuente: (Holmberg, Jönsson, Kronberg, & Lindman, 2003)

2.7.1 Clasificación de surfactantes

Tabla 10

Clasificación de los surfactantes

Tipos de surfactantes	
Aniónico	Compuestos que poseen uno o varios grupos funcionales que se ionizan en solución acuosa, generando iones orgánicos con carga negativa que son los

CONTINÚA



	responsables de su actividad superficial. Suelen contener grupos solubles como el sulfato o el sulfonato de sodio.
Catiónico	Compuestos que poseen uno o varios grupos funcionales que se ionizan en solución acuosa, generando iones orgánicos con carga negativa que son los responsables de su actividad superficial. Suelen ser compuestos orgánicos con amonio cuaternario.
No iónico	Compuestos que no se disocian en disolución acuosa. Su solubilidad en medio acuoso se debe a la presencia de grupos funcionales, como el grupo hidroxilo, -OH, capaces de formar puentes de hidrogeno con las moléculas de agua. En esta familia se agrupan los alcoholes grasos etoxilados y los alquil poli glucósidos.
Anfotérico	Poseen una estructura molecular con uno o más grupos funcionales que pueden ionizarse en disolución acuosa confiriendo al compuesto el carácter de tensoactivo anicónico o catiónico, según las condiciones del medio.

Fuente: (Ortega, 2009)

2.7.2 Emulsiones

Según (Bosch R. , 2005) menciona: “Es la estabilización del agua u otra sustancia no miscible en el diésel, para lo cual se utilizan emulsionantes, el objeto de ello es evitar una desémulsificación.” (p. 85)

“Es preciso además tomar una serie de medidas protectoras contra la oxidación y el desgaste. Con la utilización de las emulsiones pueden rebajarse las emisiones de hollín y óxidos de nitrógeno, ya que la mezcla es más fría debido a la proporción de agua” (Bosch, 2005, p.85).



Figura 18. Emulsión de diésel y agua en porcentaje de 20%

2.7.3 Tipos de emulsiones

a. Emulsiones simples

(Castañeta, Gemio, Yapu, & Nogales, 2011), afirman que: “Las emulsiones simples directa e inversa, se agrupan en una sola, debido al paso por una inversión de fases de un caso al otro. En el caso O/A, normalmente, se introduce la fase oleosa (donde se encuentra la sustancia liposoluble) en un recipiente que contiene la fase acuosa, la cual es agitada”. (p. 136)

b. Emulsiones dobles

(Jimenez, 2013), señala que: “las emulsiones múltiples (emulsiones dobles o emulsiones de emulsiones) son sistemas multicompartimentalizados, caracterizados por la coexistencia de emulsiones de aceite-en-agua (O/W) y de agua-en-aceite (W/O), en las que los glóbulos de la fase dispersa contienen dentro de ellos gotas igualmente dispersas más pequeñas.” (p. 21)

2.7.4 Tensoactivos para emulsiones

Varios métodos han sido desarrollados para seleccionar un surfactante o mezcla de surfactantes para preparar una emulsión con propiedades deseadas. Varios de estos modelos fueron completados por otras contribuciones que no toman en cuenta la naturaleza fisicoquímica de la emulsión así como del surfactante, o poseen parámetros que no pueden calcularse con exactitud.¹² Tales modelos no se han utilizado para estimar el efecto de las variables fisicoquímicas (sal y co-surfactante) y de composición (relación agua/aceite) en las propiedades reológicas de emulsiones estabilizadas con un surfactante, a través de un modelo empírico que permita medir la influencia de las mismas. (Chávez, 2014, p. 200)

Los valores de HLB de los surfactantes permite clasificarlos de acuerdo a su mayor o menor solubilidad, sea en aceite o en agua. Desde luego, es importante mencionar que los emulsificantes con alto grado de HLB son más solubles en agua y son recomendables para una emulsión aceite/agua (O/A) y viceversa, los surfactantes con bajos valores de HLB tienen mayor solubilidad en aceite y por lo tanto, son más efectivos para la preparación de emulsiones agua/aceite (A/O)". (Castañeta, Gemio, Yapu, & Nogales, 2011, p.137)

2.7.5 Ejemplos de tensoactivos:

Ácido oleico: (CEDROSA, 2004) describe: El ácido oleico se obtiene por la hidrólisis de varias grasas y aceites de animales y vegetales (sobre todo aceite de oliva). Se presenta en estado líquido a la temperatura ordinaria, de color amarillento o amarillo moreno, dependiendo de su pureza, con olor de manteca; se obscurece por absorción

del oxígeno del aire. Uso en preparaciones farmacéuticas como solvente; jabones suaves y otros oleatos, en compuestos de pulidores, textiles resistentes al agua, para espesar aceites lubricantes, en lana grasosa.



Figura 19. Ácido oleico

- **Características del producto**

Tabla 11

Características del ácido oleico

Sinónimo	Ácido 9-Octadecanóico
Uso	Preparaciones farmacéuticas como solvente; jabones suaves y otros oleatos, en compuestos de pulidores, textiles resistentes al agua, para espesar aceites lubricantes, en lana grasosa.
Aspecto	Líquido aceítico
Solubilidad	Miscible en alcohol, eterdietílico, cloroformo, benceno. Aceites fijos y volátiles, casi insoluble en agua
Temperatura de congelación	10°C máx
Peso específico	0.8809 – 0.8950
Residuos de ignición	0.01% máx.

Fuente: (CEDROSA, 2004)

El ácido oleico tiene un BHL de 1

Nonil feol 6 moles: (ARIS, 2012) afirma: “Líquido viscoso, amarillo pálido con ligero olor fenólico, obtenido por la adición de óxido de etileno al nonil fenol. Soluble en

la mayoría de disolventes orgánicos, soluble en grasas y aceites, todos grados de nonil fenol presentan gran afinidad para formar emulsiones aceite/agua”.



Figura 20. Nonil fenol 6 moles

- **Características del producto**

Tabla 12

Características del nonil fenol 6 moles

Características	Especificaciones
Aspecto a 25 °C	Líquido incoloro
Moles de O.E.	6
% Ingrediente Activo	100 min.
Gravedad específica a 25 °C	1.020 – 1.060 g/ml
Viscosidad a 25 °C	200-300 cPs
Valor BHL	10.9

Fuente: (Químicos y Aceites Especiales QAE, 2016)

Kolliphor EL: “Es un solubilizante y emulsificante no iónico hecho por reacción del aceite castor con óxido de etileno, el BHL de aceite de castor posee valor de BHL de 14” (Holmberg, Jönsson, Kronberg, & Lindman, 2003)

“Este tensoactivo es emulsificador o solubilizador de la vitamina A, D, E y K de grasa solubles en soluciones acuosas para administración oral. En soluciones alcohólicas-acuosas es muy fácil solubilizar aceites esenciales” (BASF, 2012)



Figura 21. Kolliphor EL

- **Características del producto**

Tabla 13

Características del Kolliphor EL

Característica	Especificaciones
Aspecto a 26°C	Líquido amarillo pálido aceitoso
Moles de O.E	Razón molar de 1:35
BHL	12-14

Fuente: (BASF, 2012)

2.7.6 Balance hidrofílico lipofílico (BHL)

“La regla del pulgar en tecnología de emulsiones es que los emulsificantes solubles en agua tienden a dar emulsiones O/A y los emulsificantes solubles en aceite emulsiones

A/O. Este concepto es conocido como la regla de Bancroft que es enteramente cualitativa” (Holmberg, Jönsson, Kronberg, & Lindman, 2003, p.459)

(Holmberg, Jönsson, Kronberg, & Lindman, 2003): En la escala de Griffin se introdujo el concepto del balance hidrofílico-lipofílico (BHL) de un surfactante, debido a la necesidad de establecer criterios para seleccionar sustancias anfifílicas que puedan conducir a la preparación de una emulsión ya sea esta A/O u O/A

2.7.7 Escala de Griffin

“Esta escala está comprendida entre 1 y 20 asignados al ácido oleico y al oleato de potasio, correspondientemente, lo que lleva a que el primero es 100% lipofílico y el segundo 100% hidrofílico” (Romo, 1993).

En las siguientes tablas 14 y 15 se visualizan los usos del BHL para diferentes aplicaciones.

Tabla 14

Uso del concepto del número BHL de Griffin

BHL Rango de numero	Apariencia de la solución acuosa
1-4	No dispersable
3-6	Dispersión pobre
6-8	Dispersión lechosa después de agitación
8-10	Dispersión lechosa estable
10-13	Limite traslucida a clara
13-20	Solución clara

Fuente. (Holmberg, Jönsson, Kronberg, & Lindman, 2003)

Tabla 15

Aplicación de una emulsión de acuerdo al BHL

BHL Rango de numero	Apariencia
3-6	Emulsificante W/O
7-9	Agente humectante
8-14	Emulsificante O/W
9.13	Detergente
10-13	Solubilizante
12-17	Dispersante

Fuente: (Holmberg, Jönsson, Kronberg, & Lindman, 2003)

2.8 Desgaste

(Díaz, 2007), señala que: “El proceso de desgaste, puede definirse como una pérdida de material de la interfase de dos cuerpos, cuando se les ajusta a un movimiento relativo bajo la acción de una fuerza. En general, los sistemas de ingeniería implican el movimiento relativo entre componentes fabricados a partir de metales y no metales.”

El desgaste es el causante fundamental de la pérdida de material de los equipos provocando una disminución en las dimensiones y consecuentemente una pérdida de tolerancias.

Los diferentes tipos de desgaste dependen de las condiciones de trabajo a las que el elemento está sometido, el estudio del desgaste se volvió indispensable cuando se convirtió en un problema para la durabilidad y fiabilidad de funcionamiento de máquinas y estructuras. Se han identificado seis tipos principales de desgaste, como se presenta:

- Desgaste por adherencia.
- Desgaste por abrasión.

- Desgaste por ludimiento.
- Desgaste por fatiga.
- Desgaste por erosión.
- Desgaste corrosivo

2.8.1 Desgaste adhesivo

Esta forma de desgaste ocurre cuando dos superficies se deslizan una contra otra bajo presión. Los puntos de contacto proyecciones microscópicas o la aspereza de la unión en la interfase donde ocurre el deslizamiento debido a los altos esfuerzos localizados, llevan a que las fuerzas de deslizamiento fracturen la unión, desgarrando al material de una superficie y transfiriéndolo a otra, lo que puede ocasionar posteriormente mayor daño.

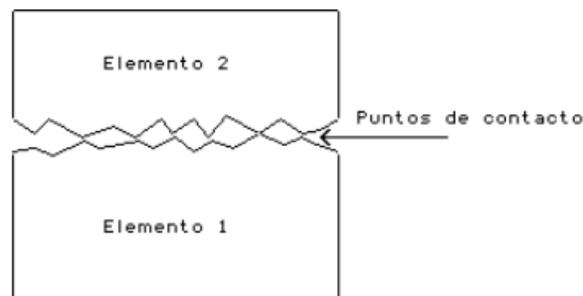


Figura 22. Desgaste adhesivo entre dos piezas en movimiento

Fuente: (Díaz, 2007)

- **Desgaste por abrasión.**

El desgaste por abrasión es la remoción de material de la superficie en contacto por superficies duras en superficies de coincidencia, o con superficies duras que presentan

un movimiento relativo en la superficie desgastada. Cuando es el caso de partículas duras, ellas pueden encontrarse entre las dos superficies que se deslizan entre sí como se muestra en la figura 23 o se podrían incrustar en cualquiera de las superficies. Es conveniente aclarar que este tipo de desgaste se puede presentar en estado seco o bajo la presencia de un fluido.

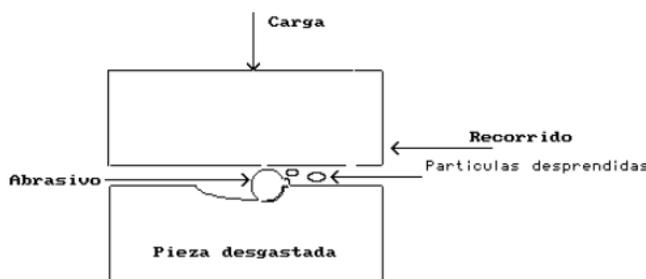


Figura 23. Desgaste abrasivo debido a la presencia de partículas duras

Fuente: (Díaz, 2007)

- **Desgaste por ludimiento.**

Esta forma de desgaste aparece como resultado del movimiento oscilatorio de dos superficies en contacto, como sucede en máquinas donde existe vibración entre las partes.

- **Desgaste por fatiga superficial.**

Es probable que el modo predominante de la mayoría de los tipos de desgaste sea por desprendimiento de material de la superficie por fatiga, ya sea que la naturaleza del movimiento sea unidireccional o de vaivén. Clasificar un tipo particular de falla como desgaste por fatiga puede ser confuso. Sin embargo, a fin de hacer un clasificación, el

término desgaste por fatiga se reserva para identificar la falla de contactos lubricados en casos como los rodamientos de bolas o rodillo, engranes, levas y mecanismos impulsores de fricción. La pérdida de material es por desprendimiento de superficiales y por picaduras, como en los engranes.

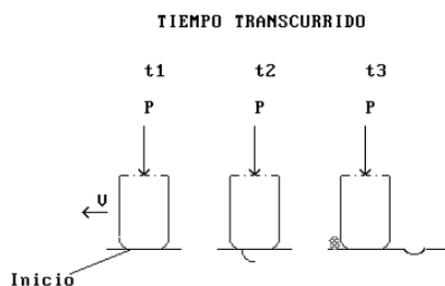


Figura 24. Desgaste por fatiga superficial

Fuente: (Díaz, 2007)

- **Desgaste corrosivo.**

Según (Díaz, 2007): “En este tipo de desgaste, las reacciones químicas o electroquímicas con el medio ambiente contribuyen significativamente en la velocidad del desgaste. En algunas ocasiones, las reacciones químicas ocurren primero y son seguidas por una remoción de los productos de la corrosión mediante una acción mecánica (abrasión), de otra manera, la acción mecánica podría preceder a la acción química dando como resultado la creación de pequeñas partículas de desperdicio.”

2.9 Rugosidad

2.9.1 Introducción

De acuerdo con (Hinojosa & Reyes, 2011): Las superficies de los cuerpos son objetos muy complejos, con una composición química y ordenamiento atómico muy

diferente por ello existen superficies o muy lisas o muy irregulares. La topografía de las superficies describe a la rugosidad como la irregularidad de las mismas.

Tanto en aplicaciones industriales como en la vida cotidiana el grado de rugosidad de la superficie es muy importante según si aplicación, si se desea menor rugosidad y mayor brillo es común que disminuya la fricción y junto con esto el fenómeno de desgaste y la corrosión o erosión de los materiales

Lo contrario a lo mencionado es una rugosidad alta donde la fricción sea un factor entre 2 superficies como por ejemplo el contacto de un neumático y la calzada.

A escala molecular, la rugosidad interfiere en el modo que las bacterias se adhieren a las superficies, así, entre menor sea la rugosidad, menor será el incremento de la placa bacteriana (p. 27-30).

2.9.2 Estados de superficies

De acuerdo con la información de (Cristiano & Fernandez, 2010) existen diferentes conceptos de superficies, para su estudio es necesario definirlos:

- a. Superficie Ideal: Por definición una superficie perfecta, ideal sin errores.

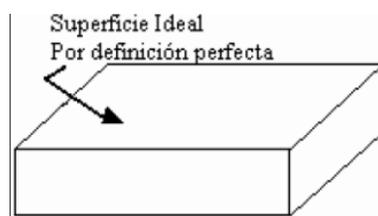


Figura 25. Superficie ideal

Fuente: (Cristiano & Fernandez, 2010)

- b. Perfil ideal: Si a la superficie ideal la cortamos con un plano perpendicular, el perfil que se obtiene es un perfil ideal o nominal, sin errores.

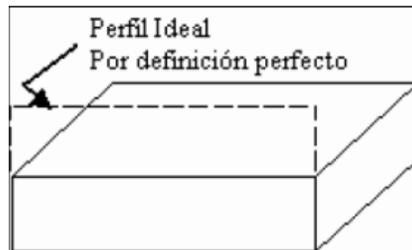


Figura 26. Perfil ideal

Fuente: (Cristiano & Fernandez, 2010)

- c. Superficie real: Es la superficie frontera entre el cuerpo y el medio ambiente al que está expuesto.

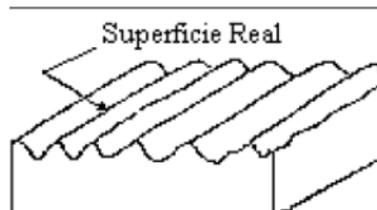


Figura 27. Superficie real

Fuente: (Cristiano & Fernandez, 2010)

- d. Perfil real: Es el perfil resultante de cortar una superficie real por un plano definido en relación a la superficie ideal. Limita la sección de material y la separa del medio ambiente, incluida la ondulación.

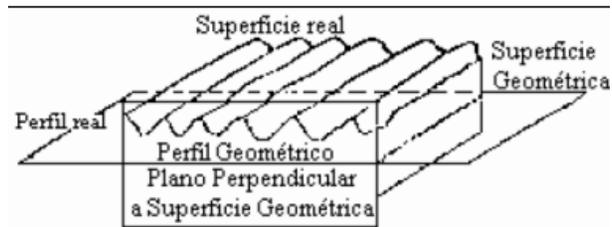


Figura 28. Perfil real

Fuente: (Cristiano & Fernandez, 2010)

e. Perfil efectivo: El perfil efectivo es función de las características geométricas y físicas del instrumento de medición y de la técnica utilizada para su evaluación. No es filtrado y su diferencia con el perfil real es una cierta deformación causada por la imprecisión del aparato.

f. Perfil de rugosidad : Se obtiene a partir del perfil efectivo por un instrumento de evaluación con sistema de filtrado (filtrado de ondas) para excluir otras irregularidades (ondulación, por ejemplo) (p.2)

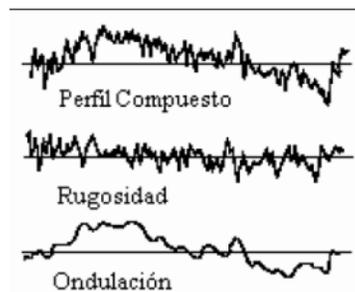


Figura 29. Perfil de rugosidad

Fuente: (Cristiano & Fernandez, 2010)

2.9.3 Parámetros de la rugosidad superficial

(Auria, Ibañez, & Ubiero, 2005), establece que: Los conceptos utilizados para la definición de los parámetros de la rugosidad, se desarrollan en la norma UNE 82 315.

a. Rugosidad superficial

Huella que se produce en la superficie de una pieza, debido al proceso de fabricación de la misma.

b. Longitud básica (l)

Longitud elegida como referencia para la medición del nivel de rugosidad. Según la Norma, debe elegirse entre los valores de la siguiente serie: 0,08 - 0,25 - 0,8 – 2,5 – 8 – 25mm.

c. Línea media del perfil (l_m)

Línea imaginaria que define que la superficie de las crestas sea igual a la de los fondos. Equivale al concepto de perfil medio.

d. Línea de las crestas del perfil (l_e)

Línea imaginaria, paralela a la línea media, que pasa por el punto más alto de las crestas.

e. Línea de los fondos de perfil (l_f)

Línea imaginaria, paralela a la línea media, que pasa por el punto más bajo de los fondos

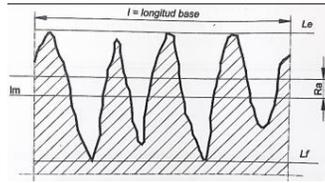


Figura 30. Valores en coordenadas de rugosidad

Fuente: (Apilluelo, Carabantes, & Artur, 2005)

2.9.4 Rugosidad media aritmética R_a

(Apilluelo, Carabantes, & Artur, 2005), afirman: “Desviación media aritmética de las desviaciones del perfil, tomada a lo largo de la longitud básica” (p. 45).

De acuerdo con (Cristiano & Fernandez, 2010) esta medida es conocida internacionalmente como, por ejemplo:

- CLA (Center Line Average - Inglaterra)
- AA (Arithmetical Average – U.S.A.)
- Hm (Normas Iram)

La especificación de la rugosidad superficial debe ser definida por la indicación del valor numérico del parámetro de la rugosidad (R_a) y el valor de la longitud básica sobre la que se efectúa la determinación de este parámetro. Es frecuente tomar como referencia el valor de 2,5 mm para la longitud básica.

A fin de racionalizar la cantidad de valores del parámetro a ser utilizados en diseños y especificaciones, la norma recomienda los que se indican a continuación:

Tabla 16

Parámetros normalizados para Ra (μm).

Parámetros Normalizados para Ra.					
0,008	0,040	0,20	1,00	5,0	25,0
0,010	0,050	0,25	1,25	6,0	32,0
0,012	0,063	0,32	1,60	8,0	40,0
0,016	0,080	0,40	2,00	10,0	50,0
0,020	0,100	0,50	2,50	12,5	63,0
0,025	0,125	0,63	3,20	16,0	80,0
0,032	0,160	0,80	4,00	20,0	100,0

Fuente: (Cristiano & Fernandez, 2010)

La determinación del módulo de medición (Cut-off) y la longitud de medición están ligados a la rugosidad media que se desea medir:

Tabla 17

Relación de medidas de rugosidad.

Rugosidad Ra [μm]	Cut- Off [mm]	Longitud de medición [mm]
Hasta 0,1	0,25	1,25
0,1 a 2	0,8	4
2 a 10	2,5	12,5
10	8	40

Fuente: (Cristiano & Fernandez, 2010)

Además de esto, existen valores ya establecidos para aplicaciones a distintos materiales o elementos:

Tabla 18

Valores de rugosidad para diferentes aplicaciones.

Ra [μm]	Aplicaciones típicas de rugosidad superficial
0,01	Bloques patrón-Reglas de alta precisión-Guías de aparatos de medida de alta precisión.
0,02	Aparatos de precisión-Superficies de medida en micrómetros y calibres de precisión.
0,03	Calibradores. Elementos de válvulas de alta presión hidráulica.
0,04	Agujas de rodamientos. Súper acabados de camisas de block de motores.
0,05	Pistas de rodamientos. Piezas de aparatos control de alta precisión.
0,06	Válvula giratoria de alta presión. Camisas Block de motor.
0,08	Rodamientos de agujas de grandes rodamientos.
0,1	Asientos cónicos de válvulas. Ejes montados sobre bronce, teflón, etc. a velocidades medias. Superficies de levas de baja velocidad.
0,15	Rodamientos de dimensiones medias. Protectores de rotores de turbinas y reductores.
0,2	Anillos de sincronizados de cajas de velocidades.
0,3	Flancos de engranaje. Guías de mesa de máquinas –herramientas.
0,4	Pistas de asiento de agujas en crucetas.
0,6	Válvulas de esfera. Tambores de freno.
1,5	Asientos de rodamientos en ejes c/carga pequeña. Ejes -agujeros de engranajes. Cabeza de pistón.
2	Superficies mecanizadas en general, ejes, chavetas, alojamientos, etc.
3	Superficies mecanizadas en general. Superficie de referencia. Superficie de apoyo
4	Superficies desbastadas
5 a 15	Superficies fundidas y estampadas.
> 15	Piezas fundidas, forjadas y laminadas.

Fuente: (Cristiano & Fernandez, 2010)

El empleo de Ra tiene muchas ventajas a nivel industrial, a continuación, a nivel mundial, es considerado un parámetro aplicable a la mayoría de los procesos de fabricación, casi la totalidad de los equipos presentan este parámetro, en forma analógica

o digital. La norma DIN 4769, para una mayor facilidad de especificación y control, divide en grados los diferentes valores de Ra.

Tabla 19

Grado de rugosidad

Ra [μm]	N° de Grado de Rugosidad	Descripción de la Calidad	Según el proceso de fabricación.	Según el de aplicación.
50	N12	Se acepta la uniformidad y alisado obtenida por medio de procedimientos usuales realizados cuidadosamente	Procedimiento cuidadoso, sin arranque de viruta	Superficies fundidas sin ningún requerimiento especial.
25	N11			Superficies libres.
12,5	N10			Superficies ordinarias de piezas mecanizadas,
6,3	N9	Las huellas de mecanización se aprecian al tacto y a la simple vista	Desbastado	superficies de cierre conjuntas ordinarias, superficies fundidas y estampadas.
3,2	N8	Las huellas de mecanización son apreciables al tacto, pero son difícilmente		Superficie partes fijas desmontables y que no requieran requisitos especiales de calidad.

CONTINÚA



1,6	N7	apreciables a simple vista s de acoplamiento de.	Alisado, afinado, torneado, fresado, cepillado, limado.	Ajustes fijos, chavetas y chaveteros, ejes, agujeros y caras especiales de engranajes, superficies deslizantes poco cargados
0,8	N6	Las huellas de mecanización no son apreciables a simple vista.		Ejes para cojinetes, excéntricas de calidad media, asientos de válvulas.
0,4	N5			
0,2	N4			Soportes, cigüeñales, árboles de levas y excéntricas, ejes para cojinetes, ejes poco lubricados, vástagos de válvula, etc.
0,1	N3		Súper acabados.	
0,5	N2	Las huellas solo son apreciables mediante la utilización de microscopio.		Patrones de medida, calibres de gran precisión, piezas de micrómetros, calibres.
0,025	N1			

Fuente: (Auria, Ibañez, & Ubiero, 2005)

CAPÍTULO III

3. PROTOCOLO DE PRUEBAS

En este capítulo se describe equipos, materiales y protocolos utilizados y aplicados para cumplir con el análisis del desgaste del pulverizador y comportamiento electrónico de inyectores CRDI y bomba de alta presión al utilizar la mezcla de combustible diésel surfactantes de agua.

3.1 Equipos

Los siguientes equipos que serán posteriormente detallados son los que se utilizaron para la realización del proyecto de investigación.

3.1.1 Banco para comprobación de inyectores CRDI- ESPE

(Salinas & Villavicencio, 2013) mencionan que “El banco específicamente diseñado para la comprobación de inyectores CDRI multimarca (Bosch, Delphi y Denso), incorporando como tren motriz, un motor eléctrico trifásico conectado a una bomba de alta presión por medio de un volante de inercia, que simula alta presión en el riel, la cual está conectada a los inyectores” (p.43)

Tabla 20

Características del banco para comprobación de inyectores CRDI - ESPE

Características del banco para comprobación de inyectores	<ul style="list-style-type: none"> • Consta de un módulo que controla la frecuencia y sentido de giro de la bomba de alta presión • Tiene un botón de stop en caso de emergencia
--	--

CONTINÚA



-
- Posee un potenciómetro para aumentar las revoluciones de la bomba
-
- El banco de pruebas se alimenta con 220 V
-
- Posee un motor eléctrico que alcanza 7,5 HP de potencia
-
- Es sencillo y didáctico para utilizar
-
- Cumple con las respectivas normas de seguridad que debe reunir un banco de pruebas para el operario
-
- Funciona con inyectores de distintas marcas y bombas de alta presión.
-

- **Partes de banco**

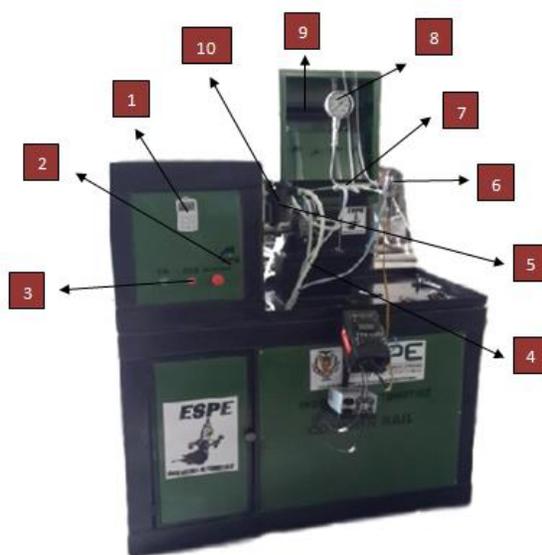


Figura 31. Partes del banco de pruebas CRDI-ESPE

Tabla 21*Partes del banco de pruebas*

NÚMERO	PARTE
1	Variador de frecuencia
2	Potenciómetro (revoluciones)
3	Mandos de ON, OFF, STOP
4	Cañerías (succión y retorno)
5	Volante de inercia
6	Válvula aliviadora de presión
7	Riel común
8	Manómetro
9	Porta probetas
10	Filtro de combustible

3.1.2 Banco de pruebas de sistema Common Rail SPEDMAQ S40

Equipo eficiente y de precisión, utilizado para probar bombas Common Rail tipo CP con sus respectivas series y tipo HP con sus series de igual manera para inyectores de diferentes marcas como Bosch, Delphi, Denso, Siemens, etc. Este banco cuenta con un software que emite un informe de pruebas realizadas el cual compara resultados con parámetros establecidos por el fabricante de bombas e inyectores ya que este banco cuenta con una base de datos de valores. Se puede elegir el sentido de giro de la bomba en el software.

Es un equipo el cual permite realizar varias pruebas tales como: estanqueidad, plena carga, pre inyección, emisiones y marcha lenta.



Figura 32. Banco de pruebas CRDI-SPEEDMAQ S40

Fuente: (Brasil, 2018)

Tabla 22

Características del banco de pruebas CRDI-SPEEDMAQ S40

Características del banco de pruebas CRDI-SPEEDMAQ S40	• Potencial nominal del banco 7,5Kv
	• Capacidad del tanque 40lts
	• Alimentación de 220 y 380 Voltios
	• Tiene un manómetro de 0 a 16Kgs
	• Posee un botón de emergencia
	• Equipado con un ordenador Windows 10
	• Posee una cámara que permite ver microestructuras
	• Iluminación led
	• Lenguaje del software inglés, portugués y español.

3.1.3 Microscopio metalúrgico invertido XJL-17AT

Instrumento utilizado para visualizar de manera precisa las partes que están expuestas a desgaste de la microestructura del material en la superficie de los componentes del inyector denso 6521.

Este tipo de microscopio invertido metalúrgico están diseñados ergonómicamente lo cual disminuye espacio en la mesa de trabajo, proporciona estabilidad, y fácil uso para la persona que lo va a manipular. La evaluación de la pieza a visualizar será fácil y clara con este microscopio, son utilizados específicamente para el análisis de estructuras en metales y aleaciones.

Tabla 23

Características del microscopio metalúrgico invertido XJL-17AT

Características del microscopio metalúrgico invertido XJL-17AT	• Cabezal binocular inclinado en 30 ° y una cabeza trinocular inclinada a 30°
	• Iluminación con bombilla halógena de 20W y 6V
	• Equipado con una cámara marca BASLER situada en la parte superior la cual cuenta con un puerto que se conectan a una computadora para visualizar las imágenes en vivo mediante un software
	• El cuerpo del microscopio esta hecho de aluminio para una mejor estabilidad y rigidez.
	• Diseño ergonómico, disminuye espacio en el lugar donde se va trabajar.
	• Visión ocular elevada
	• Revolver múltiple
	• Rango de aumento de 5X a 100X

CONTINÚA



-
- Aumentos totales 1000X.
-
- Se visualizan imágenes de alta calidad, claras y nítidas.
-
- Consta de una platina que mide 150 mm de ancho por 180 mm de largo y piezas de sujeción
-
- Se conecta a una toma de 110 Voltios
-
- Posee varios accesorios y filtros de reemplazo
-

- **Partes del microscopio XJL-17AT**

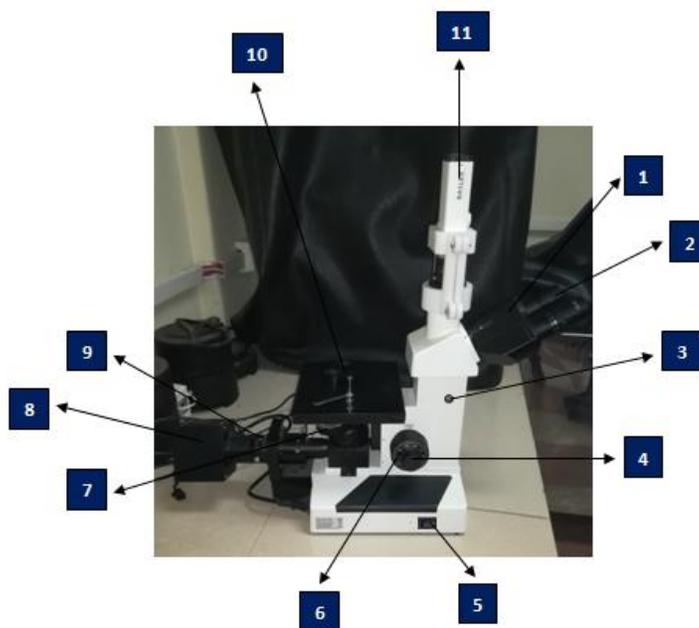


Figura 33. Partes del microscopio XJL-17AT

Tabla 24*Partes del microscopio XJL-17AT*

NÚMERO	PARTE
1	Cabeza del binocular, 30° de inclinación
2	Oculares
3	Divisor de haz para la cámara
4	Control de enfoque, coaxial grueso y fino
5	Interruptor ON/OFF
6	Abertura del diafragma
7	Revólver quíntuple
8	Lámpara de iluminación 20W/6V
9	Control de brillo variable
10	Platina
11	Puerto de cámara frontal

Tabla 25*Revolver quíntuple del microscopio*

LENTE	COLOR
5 X	ROJO
10X	AMARILLO
20X	NEGRO
40X	AZUL
100X	BLANCO

3.1.4 Balanza analítica ADAM

Es una de las formas de verificar si existe desprendimiento del material de los componentes, es necesario utilizar esta balanza de precisión ya que el desgaste del material en las piezas es microscópico.

Se realiza el pesaje de las partes del inyector como son: embolo, arandelas de presión superior e inferior, resorte, varilla de empuje, guías, rotor y porta tobera así también se pesan las partes de la bomba de alta presión a analizar tales como: rotor interno y externo, separador, leva, árbol de levas, tapa de bomba, bomba de alimentación, embolo de buzo superior e inferior, el primer pesaje se realiza a las 0 horas de funcionamiento tanto del inyector como de la bomba, asimismo con el mismo procedimiento se vuelve analizar el peso a las 50, 100, 150 y 200 horas de trabajo, posteriormente analizar los valores en una tabla comparativa.

Tabla 26

Características de la balanza analítica ADAM

	<ul style="list-style-type: none"> • Capacidad máxima de 264 gramos
	<ul style="list-style-type: none"> • Legibilidad de 0,001 de precisión
	<ul style="list-style-type: none"> • Tiempo de estabilización 3 segundos
	<ul style="list-style-type: none"> • Pantalla LCD con iluminación de fondo
	<ul style="list-style-type: none"> • Peso neto 4 Kg
	<ul style="list-style-type: none"> • Adaptador para corriente alterna
Características de la balanza analítica ADAM	<ul style="list-style-type: none"> • Consta de varias funciones como cambio de unidades, impresión de datos, ajuste de la balanza a cero, calibración, etc.
	<ul style="list-style-type: none"> • Cubierta totalmente de vidrio
	<ul style="list-style-type: none"> • Varias unidades de pesaje
	<ul style="list-style-type: none"> • Consta de un plato redondo de 9 cm
	<ul style="list-style-type: none"> • Dimensiones de la balanza 30cm de alto, 22 cm de ancho y 30 cm de profundidad
	<ul style="list-style-type: none"> • Temperatura de funcionamiento 10 °C a 30°C

- Partes de la balanza

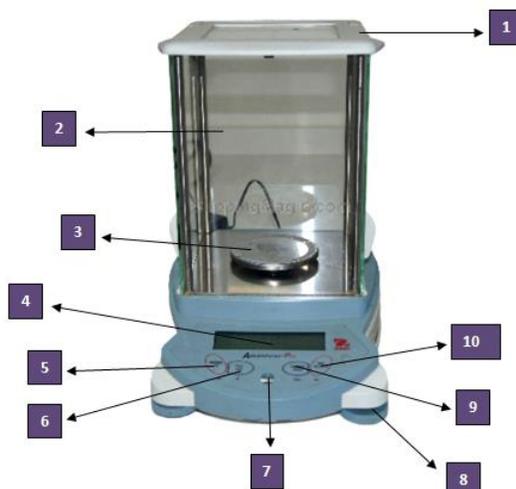


Figura 34. Partes de la balanza ADAM

Tabla 27

Partes de la balanza analítica ADAM

NÚMERO	PARTE
1	Puerta superior
2	Cubierta protectora de vidrio
3	Plato de pesaje
4	Pantalla
5	Botón On/Zero/Off/Yes
6	Botón Print Unit/No
7	Burbuja de nivelación
8	Pata de nivelación
9	Botón Fuction Mode/Back
10	Botón Tare Menu-Cal/Exit

NOTA: Es importante antes de utilizar la balanza calibrar la misma, una vez realizado el paso se procede a pesar, al volver a pesar es necesario encerrar.

3.1.5 Rugosímetro CMSRT210

Es un instrumento de alta precisión que sirve para medir la rugosidad de una superficie con la ayuda de una sonda que va midiendo la rugosidad de la superficie del elemento.

Este instrumento se utilizó para observar el acabado superficial de los elementos del inyector como el embolo de mando en tres sectores y la aguja, así también los elementos de la bomba de alta presión los cuales son: el árbol de levas en tres sectores y de la leva en la cara superior e inferiores ya que son elementos que están más expuestos al desgaste.

Tabla 28

Características del rugosímetro CMSRT210

Características del rugosímetro CMSRT210	• Precisión $\pm 10\%$
	• Resolución $0,001\mu\text{m}$
	• Velocidad de desplazamiento de la varilla con el sensor $0,5\text{ mm/s}, 1\text{ mm/s}$
	• Posee 13 parámetros de rugosidad (Ra, Rz, Ry, Rq, Rp, Rm, Rt, R3z, Rmax, Sk, S, Sm, tp)
	• Visualización de curvas y graficas
	• Almacenamiento máximo 100 mediciones
	• Operación inalámbrica con computadora o celular
	• Cuneta con la función impresión de resultados mediante vía bluetooth
	• Pesa 440g
	• Auto apagado
• Batería recargable, adaptador AC/DC	

- Partes

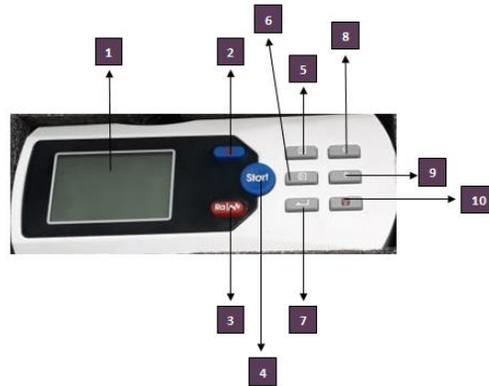


Figura 35. Partes del rugosímetro

Tabla 29

Partes del rugosímetro

NÚMERO	PARTE
1	Pantalla
2	Botón de encendido y luz
3	Gráficas
4	Start
5	Regresar
6	Menú
7	Enter
8	Botón mover hacia arriba
9	Boto mover hacia abajo
10	Guardar

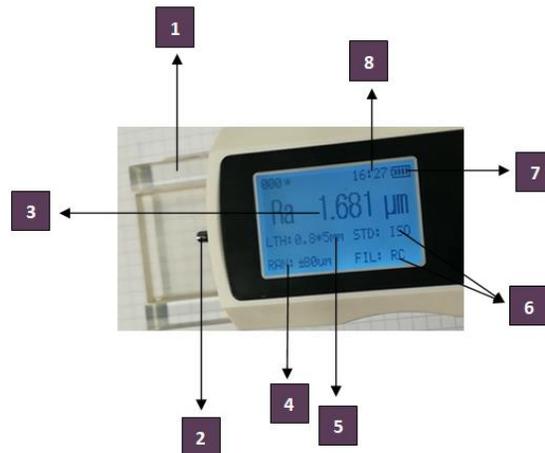


Figura 36. Partes de la pantalla del rugosímetro

Tabla 30

Partes de la pantalla del rugosímetro

NÚMERO	PARTE
1	Placa de calibración
2	Sensor
3	Lectura
4	Tolerancia
5	Valor salida del sensor
6	Condición de test
7	Indicador de batería
8	Hora

3.1.6 Medidor de LCR

Es un instrumento electrónico que permite medir inductancia, capacitancia y resistencia.

Se utilizó para medir la inductancia de la bobina del inyector en una escala de 2 mH, y se midió la resistencia de la misma en una escala de 200 Ω . Este procedimiento

se lo realizara según el protocolo de pruebas planeado. Este instrumento nos ayuda a realizar la comprobación electrónica del inyector.

Tabla 31

Características del medidor de LCR

Características del medidor de LCR	• Posee la función HOLD para pausar la imagen
	• Mide inductancia desde un rango de 2mH hasta los 20 H
	• Mide resistencia desde un rango de 200 Ω a 20 M Ω
	• Mide capacitancia desde un rango de 1000uF hasta 2nF
	• Tiene un diodo de luz indicador de sonido de continuidad
	• Consta de un conector de prueba para transistores tipo PNP y NPN
	• Dimensiones 189*97*35mm

• **Partes:**

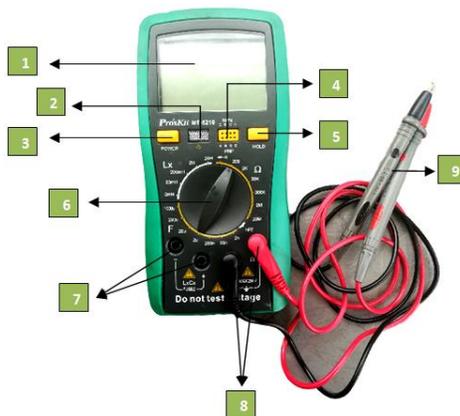


Figura 37. Partes del medidor de LCR

Tabla 32*Partes del medidor LCR*

NÚMERO	PARTE
1	Pantalla Display
2	Aviso de continuidad (luz, sonido)
3	Botón de ON y OFF
4	Conector de prueba de transistor
5	Interruptor de HOLD
6	Selector de rango
7	Entrada para medir inductancia y capacitancia
8	Entrada para medir resistencia y conductividad
9	Sondas de pruebas

3.1.7 Megohmetro Supco M500

Es un instrumento electrónico utilizado para medir el aislamiento de cualquier componente de bobina.

Se lee de la siguiente manera si se prende el led en 20 corresponde a un aislamiento bajo o corto circuito en la bobina, si el led de ON esta prendido y no se enciende ningún led de la escala quiere decir que el aislamiento es mas de 1000Ω y por ende está en correcto funcionamiento el componente, si no se enciende el led de ON es importante revisar las baterías de este.

Se conecta las sondas de pruebas una en el terminal de la bobina y otro en masa de la bobina se presiona el botón de encendido y el instrumento empieza a medir, se visualiza el valor dependiendo del estado del componente.

Se realizó las pruebas en el tiempo de 50, 100, 150 y 200 horas de funcionamiento del inyector.



Figura 38. Megohmetro Supco M500

3.2 Método de elaboración de emulsiones

3.2.1 Formulación de emulsiones

(Pucuji, 2016) menciona: “La formulación de emulsiones se las elaboró a partir del procedimiento establecido en el capítulo III, método BHL (Balance hidrofílico lipofílico) por pruebas de ensayo y error, hasta obtener una formulación estable. Se utilizó la tabla 10 como guía para elaborar una emulsión que corresponde a una emulsión W/O, que explica que se debe tener un BHL del tensoactivo entre 3 y 6 para esta aplicación.”

El primer producto emulsionante ácido oleico fue adquirido en el laboratorio Liderquim en la ciudad de Quito, el segundo producto nonil fenol 6 moles se adquirió en la “Casa de los Químicos” en la ciudad de Ambato y tercer y último producto Kolliphor se obtuvo en el laboratorio Espectrocrom en la ciudad de Quito.

(Pucuji, 2016) Afirma que: “Con los valores de BHL de los surfactantes encontrados en las tablas 8, 9 y 10 se procedió a calcular la proporción de las sustancias tensoactivas para obtener un BHL para la aplicación de la tabla 13 utilizando la ecuación 37 y 38.”

(Pucuji, 2016) “En la tabla 14, nuestro BHL requerido para esta aplicación es 4, siendo nuestro compuesto A: nonil fenol de 6 moles y nuestro compuesto B: ácido oleico”, se obtiene:

- **Obtención del tensoactivo emulsionante**

$$\%_A = \frac{(4 - 1) \times 100\%}{10.9 - 1}$$

$$\%_A = 30.30\%$$

Reemplazando el $\%_A$ y despejando el $\%_B$ en la siguiente fórmula se obtiene el valor de ácido oleico requerido:

$$100\% = \%_A + \%_B$$

$$\%_B = 100\% - \%_A$$

$$\%_B = 100\% - 30.30\%$$

$$\%_B = 69.70\%$$

- **Ácido oleico**

$$1\text{kg} \longrightarrow 100\%$$

$$X_{\text{ácido oleico}} \longrightarrow 67,70\%$$

$$X_{Diesel} = \frac{69,7\% \times 1Kg}{100\%}$$

$$X_{agua} = 0,697 \text{ kg}$$

- **Nonil fenol 6 moles**

$$1\text{kg} \longrightarrow 100\%$$

$$X_{agua} \longrightarrow 30,30\%$$

$$X_{Diesel} = \frac{30,30\% \times 1Kg}{100\%}$$

$$X_{agua} = 0,303 \text{ kg}$$

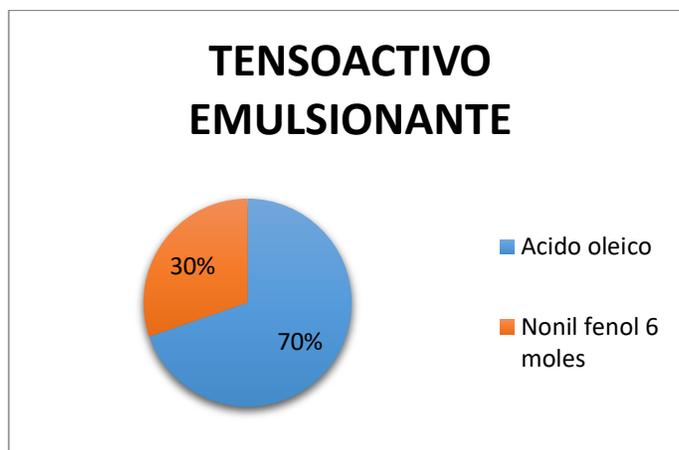


Figura 39. Porcentajes de tensoactivos

El autor (Pucuji, 2016) menciona: “De acuerdo a los resultados calculados se va a necesitar en una formulación del 100%, el 30.30% del tensoactivo nonil fenol de 6 moles de óxido de etileno, y el 69.70% del tensoactivo ácido oleico, para obtener una mezcla de tensoactivos que me permitan obtener un BHL apropiado para la aplicación que se requiere en esta investigación”.

A más de los emulsionantes mencionados anteriormente se añadió Kolliphor EL que es un solubilizante adecuado para ayudar a estabilizar mejor la mezcla.

Se utilizó la emulsión del 20% agua ya que el autor (Pucuji, 2016) menciona que: “se obtiene mejores resultados en los parámetros mecánicos y térmicos con la emulsión diésel y 20% de agua, lo que dirige al análisis de costos y vida útil de los elementos motor de combustión interna”. También disminuye considerablemente las emisiones con este porcentaje de agua.

Mezcla al 20% de agua

- **Diésel**

$$1\text{kg} \longrightarrow 100\%$$

$$X_{Diesel} \longrightarrow 68\%$$

$$X_{Diesel} = \frac{68\% \times 1Kg}{100\%}$$

$$X_{Diesel} = 0,68 \text{ kg}$$

- **Agua**

$$1\text{kg} \longrightarrow 100\%$$

$$X_{agua} \longrightarrow 20\%$$

$$X_{Diesel} = \frac{20\% \times 1Kg}{100\%}$$

$$X_{agua} = 0,2 \text{ kg}$$

- **Tensoactivo**

1kg \longrightarrow 100%

X_{Diesel} \longrightarrow 10%

$$X_{Diesel} = \frac{10\% \times 1Kg}{100\%}$$

$$X_{Diesel} = 0.1 \text{ kg}$$

- **Tensoactivo estabilizante**

1kg \longrightarrow 100%

X_{Diesel} \longrightarrow 2%

$$X_{Diesel} = \frac{2\% \times 1Kg}{100\%}$$

$$X_{Diesel} = 0.02 \text{ kg}$$

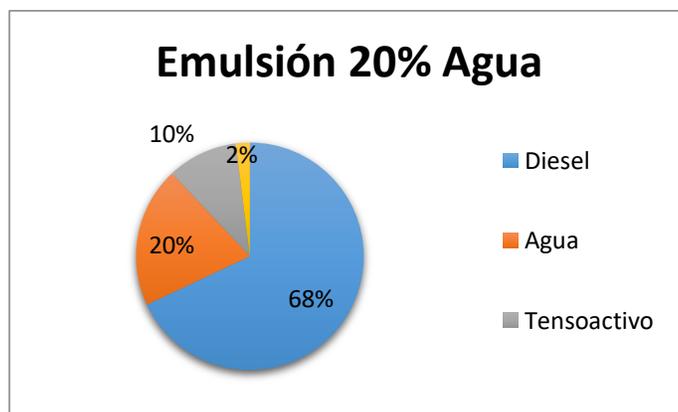


Figura 40. Porcentajes de la mezcla

3.2.2 Equipos utilizados para la elaboración de la emulsión

a. Balanza de precisión BPS 51 plus marca BOECO

Es un equipo de precisión utilizada en laboratorios químicos para medir masas. Posee una amplia diversidad de unidades a medir.



Figura 41. Balanza de precisión BOECO

Tabla 33

Características de la balanza de precisión BPS 51 plus marca BOECO

	<ul style="list-style-type: none"> • Carga máxima de 45000 g
	<ul style="list-style-type: none"> • Carga mínima 0,5 g
Características de la balanza de precisión BPS 51 plus marca BOECO	<ul style="list-style-type: none"> • Legibilidad de 0,01 g
	<ul style="list-style-type: none"> • Rango de tara 45000 g
	<ul style="list-style-type: none"> • Dimensión del patillo 195x195 mm
	<ul style="list-style-type: none"> • Diversidad de funciones

CONTINÚA



-
- Posee una pantalla LCD
-
- Dimensión total 470x380x336 mm
-
- Calibración interna automática
-

- **Proceso de medición**

- 1) Encerar la balanza
- 2) Limpiar el vaso de precipitación a utilizar
- 3) Ubicar el vaso de precipitación en la balanza
- 4) Tarar la masa del vaso de precipitación vacío
- 5) Verter la sustancia que se necesite masar, despacio poco a poco hasta obtener la masa que se necesite, observando en la pantalla LCD el valor.

Nota: tener cuidado al derrame de productos químicos en la balanza.



Figura 42. Elaboración de la mezcla

b. Agitador magnético MSH 420 BOECO

Dispositivo de accionamiento motorizado con calefacción en el plato de cristal-cerámica, que sirva para agitar y al mismo tiempo calentar la mezcla. Este equipo es resistente a químicos, derrames y corrosión. Posee indicadores led de encendido, agitación y calefacción. Una luz led roja se ilumina si la temperatura de la placa caliente supera 55°C.



Figura 43. Agitador magnético MSH 420 BOECO

Tabla 34

Características del agitador magnético MSH 420 BOECO

Características del agitador magnético MSH 420 BOECO	• Rango de velocidad 60-1110 1/min
	• Rango de temperatura ambiente a 450 °C
	• Máximo volumen de agitación hasta 15 litros
	• Tamaño de la placa 200x200
	• Posee protección contra sobrecalentamiento
	• Dimensiones del instrumento 320x210x105 mm

CONTINÚA



-
- Poder de calefacción 750 Watts
-
- Alimentación 110-220 Voltios
-
- Peso neto 3,6 Kg
-

- **Proceso de agitación**

- 1) En un vaso de precipitación voltear los dos tensoactivos emulsionantes a mezclar
- 2) Colocar en la placa el vaso de precipitación
- 3) Alimentar el instrumento (se enciende led verde)
- 4) Regular la velocidad y temperatura

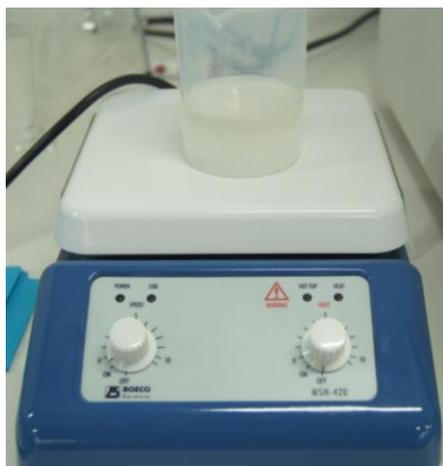


Figura 44. Proceso de agitación

c. Agitador mecánico OSD-20 BOECO

Instrumento utilizado en laboratorios químicos que sirve para mezclar por medio de la agitación de manera homogénea líquidos, disoluciones. Posee una hélice la cual gira de acuerdo a las revoluciones que se necesite. Cumple con normas CE Y DIN y es fabricado bajo norma ISO 9001:2000.



Figura 45. Agitador mecánico OSD-20 BOECO

Tabla 35

Características del agitador mecánico OSD-20 BOECO

Características del agitador mecánico OSD-20 BOECO	<ul style="list-style-type: none"> • Pantalla LCD que permite visualizar el valor de revoluciones
	<ul style="list-style-type: none"> • Posee una perilla para subir o bajar las revoluciones
	<ul style="list-style-type: none"> • Máxima cantidad de agitación 20 litros
	<ul style="list-style-type: none"> • Rango de velocidad de 60 a 2000 rpm
	<ul style="list-style-type: none"> • Potencia del motor 70 W de entrada y 35 W de salida
	<ul style="list-style-type: none"> • Máximo par del mandril 1,50 Nm
	<ul style="list-style-type: none"> • Máximo diámetro del agitador de 13mm
	<ul style="list-style-type: none"> • Dimensiones 88x212x294 mm
	<ul style="list-style-type: none"> • Peso neto 3,1 Kg

• **Proceso de mezclado:**

- 1) Colocar en envase con la mezcla en la mesa del mezclador

- 2) Nivelar el instrumento, viendo que la hélice llegue hasta abajo sin topar la superficie del envase
- 3) Conectar a la toma de 110V
- 4) Encender con presionando en uno el swich
- 5) Girar la perilla a 700 rpm
- 6) Dejar mezclar durante 8 minutos aproximadamente



Figura 46. Agitación de la mezcla

3.2.3 Proceso de elaboración de emulsiones

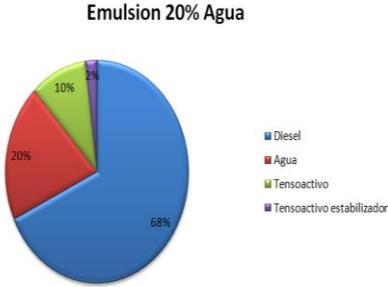
Para elaborar la mezcla se utilizó el laboratorio de petroquímica en la Universidad de las Fuerzas Armadas extensión Latacunga, con ayuda de dos equipos del laboratorio, una balanza de precisión BPS 51 plus marca BOECO, agitador magnético MSH 420 y un mezclador OSD-20 de la misma marca.

Cabe recalcar que se preparó 1kg de mezcla por separado y al final se unieron hasta obtener 5 Kg en total, necesarios para utilizar en el banco de pruebas. El éxito para que la emulsión se mezcle de manera homogénea es utilizar el agitador magnético.

Procedimiento:

Tabla 36

Procedimiento elaboración de mezcla

Orden	Descripción	Figura										
1.	Obtener mediante cálculos el porcentaje de mezcla de las sustancias utilizadas, en este caso será de 1Kg de muestra.	<p style="text-align: center;">Emulsion 20% Agua</p>  <table border="1"> <caption>Composición de la Emulsión 20% Agua</caption> <thead> <tr> <th>Sustancia</th> <th>Porcentaje</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Diesel</td> <td>68%</td> </tr> <tr> <td>Agua</td> <td>20%</td> </tr> <tr> <td>Tensioactivo</td> <td>10%</td> </tr> <tr> <td>Tensioactivo estabilizador</td> <td>2%</td> </tr> </tbody> </table>	Sustancia	Porcentaje	Diesel	68%	Agua	20%	Tensioactivo	10%	Tensioactivo estabilizador	2%
Sustancia	Porcentaje											
Diesel	68%											
Agua	20%											
Tensioactivo	10%											
Tensioactivo estabilizador	2%											
2.	Masar el ácido oleico											
3.	Masar el nonil fenol 6 moles											

CONTINÚA



-
4. Con la utilización del agitador magnético agitar los dos tensoactivos el ácido oleico + el nonil fenol 6 moles, hasta que se visualice una mezcla uniforme.



-
5. Mazar el tensoactivo estabilizate kolliphore



-
6. Mazar el agua destilada



-
7. Mazar el diésel



CONTINÚA



8. En un vaso de precipitación suficientemente grande se vierte todas las sustancias ya masadas



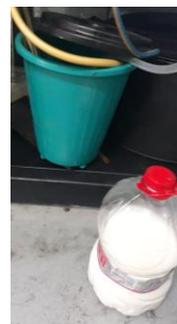
9. Se procede a batir con la ayuda del mezclador BOECO aproximadamente 8 minutos a 700 revoluciones.



10. Dejar reposar durante dos semanas en un recipiente sellado



11. Voltar la mezcla en un balde el cual se utilizara para hacer las pruebas en el banco.



12. Registrar datos del comportamiento de la emulsión

Muestra	Número de semanas	Temperatura de estabilidad (cualitativa)	Apariencia (cualitativa)
Disel-20% H ₂ O	2	Ambiente	Lechoso

Nota: Es importante que al momento de masar las sustancias se utilice diferentes vasos de precipitación para cada una de ellas. Repetir el mismo procedimiento si requiere más cantidad.

3.3 Selección de los elementos del banco de pruebas CRDI

La selección de los elementos se basó bajo las características del banco de pruebas que se muestra en la tabla 17

Tabla 37

Ficha técnica del banco de pruebas CRDI

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	MI / # inyecciones	0,1 ml / # inyecciones
Tensión	0 – 5 V	V	0,01 V
Volumen	0 – 100 ml	MI	0,1 ml

Fuente: (Salinas & Villavicencio, 2013)

3.3.1 Selección de la bomba de alta presión

Se escogió una bomba de alta presión DENSO tipo HP3 que tiene una capacidad de generar hasta 1800 bar adecuada para utilizar en el banco de pruebas CRDI, además de su factible adquisición y fácil desarmado de piezas.

3.3.2 Selección del inyector

Los inyectores utilizados son de marca Denso serie 6521 los cuales poseen las siguientes características mostradas en la tabla. :

Tabla 38

Características de funcionamiento del inyector Denso 6521

Parámetro	Valor
Voltaje (Voltios)	80V
Amperaje (Amperios)	20 ^a
Resistencia (Ohmios)	0,7 Ω
Presión de abertura (Bares)	200bar
Presión máxima (Bares)	1800bar

Fuente: (Jácome & López, 2013)

3.3.3 Depósito

Dispositivo que se utilizó para que se inyecte en el interior del cubo el biodiesel de esta manera no existe pérdida o derrame de combustible. Cuenta con una manguera de retorno hacia el tanque.

Las dimensiones del depósito fueron tomadas de acuerdo al espacio que existe en el banco, en referencia al ancho y largo y profundidad los cuales son 25x20x20 cm.

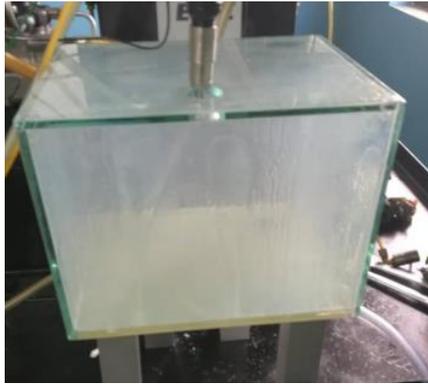


Figura 47. Depósito de mezcla combustible

3.3.5 Cálculo del tiempo de inyección bajo condiciones reales

Datos

- Potencia (P): 80,54 KW
- Revoluciones (rpm): 2500 rpm
- Consumo específico de combustible (b): $358,3 \frac{g}{KW.h}$
- Numero de cilindros (i): 4
- Densidad del biodiesel (ρ): $883 \frac{kg}{m^3}$
- Ciclo de trabajo (CT): 14%

Cálculos

- **Potencia por cilindro (P_C)**

$$P_C = \frac{P}{i}$$

$$P_C = \frac{80,54KW}{4}$$

$$P_c = 20,13 \text{ KW}$$

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

$$K_v = \left(\frac{b * P}{\rho} \right) * \frac{1}{60}$$

$$K_v = \left(\frac{358,3 \frac{g}{KW \cdot h} * \frac{1Kg}{1000g} * 80,54KW * \frac{1h}{60min}}{883 \frac{kg}{m^3} * \frac{m^3}{1000lt}} \right)$$

$$K_v = 0,544 \frac{lt}{min}$$

- **Cantidad de combustible inyectado por cilindro (K_{v_c})**

$$K_{v_c} = \frac{K_v}{i}$$

$$K_{v_c} = \frac{0,544}{4}$$

$$K_{v_c} = 0,136 \frac{lt}{min}$$

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

$$V_c = \frac{K_{v_c} * K}{rpm}$$

$$V_c = \frac{0,136 \frac{lt}{min} * \frac{m^3}{1000lt} * \frac{1000000 \text{ mm}^3}{m^3} * 2}{2500 \frac{rev}{min}} * 1000000$$

$$V_c = 108,8 \text{ mm}^3$$

- **Tiempo de inyección**

$$RPM = \frac{120000}{T}$$

$$T = \frac{120000}{2500}$$

$$T = 48ms$$

$$T = \frac{48}{i}$$

$$T = \frac{48}{4}$$

$$T = 12ms$$

$$t_i = Ct * T$$

$$t_i = 0.14 * 12ms$$

$$t_i = 1,6$$

- **Tiempo de descanso**

$$T = t_i * t_{off}$$

$$t_{off} = t_i - T$$

$$t_{off} = 12 - 1,68$$

$$t_{off} = 10,32 \text{ ms}$$

3.4 Protocolo de pruebas 50, 100, 150 y 200 horas utilizando la mezcla-combustible

Para empezar las pruebas previamente se montó la bomba y el inyector que se utilizaron para el posterior análisis. Se llevó a cabo las pruebas durante un tiempo las 50, 100, 150 y 200 horas de funcionamiento del inyector y bomba de alta presión.

Para elección de los mencionados intervalos tiempo de pruebas se tomó como referencia lo expuesto en tesis anteriores donde recomiendan lo siguiente:

(Perez Acevedo, 2005) menciona que: “al realizar los ensayos de desgaste para 120 horas de trabajo, lo que equivale aproximadamente a 70 Km de recorrido de fricción del par émbolo buzo – camisa de una bomba de inyección diésel, se alcanzan resultados satisfactorios.

Tomando esta recomendación y análisis antes mencionado se consideró realizar las pruebas durante las 200 horas en intervalos de 50 horas con el fin de obtener resultados precisos analizados de esta manera se realiza una mejor comparación de datos.

3.4.5 Adecuación del banco de pruebas comprobador de inyectores CRDI

Es necesario antes de empezar a realizar las pruebas con la mezcla combustible surfactante de agua, adecuar y limpiar el banco ya que este puede estar mucho tiempo sin utilizarse es por eso que para ello se procedió a realizar los siguientes pasos

Tabla 39

Adecuación del banco de pruebas

Orden	Descripción	Figura
1.	Desarmar y limpiar el filtro de combustible, una vez limpio el filtro volver a montar	

CONTINÚA





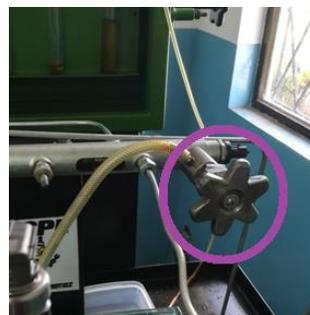
-
2. Limpiar las mangueras y conectarlas.



-
3. Realizar el cebado manual del filtro, para evitar la existencia de aire.



-
4. Abrir totalmente la válvula de alivio de presión que se encuentra sobre el conducto común.



CONTINÚA



5. Colocar una manguera en la cañería de alta presión del riel que va al inyector la cual servirá de retorno.



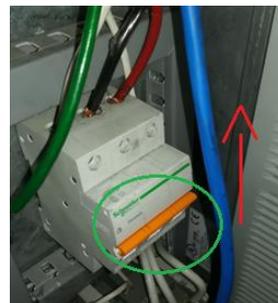
6. Utilizar dos recipientes uno para la manguera de succión el cual debe contener diésel limpio y el otro recipiente se utiliza para las mangueras de retorno del combustible.



7. Conectar el banco a una toma de 220V.



8. Levantar el breaker del variador de frecuencia.



CONTINÚA



-
9. Poner en la posición ON el banco



-
10. Seleccionar el sentido de giro del motor en la pantalla del variador en este caso es reversa (anti horario).



-
11. Comenzar la simulación real aumentando las rpm con el potenciómetro, el valor recomendado será de 13 HZ que equivale a 850 rpm aproximadamente.



-
12. Se visualizó como va circulando el fluido, al mismo tiempo va limpiando.

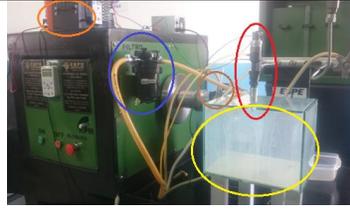


-
13. Una vez realizada la limpieza se procede a montar los

CONTINÚA



elementos nuevos en el banco.



-
14. Desmontar y Montar la nueva bomba de alta presión



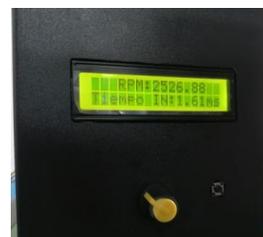
-
15. Ubicar la caja de vidrio que sirve para que la mezcla retorne y recircule.



-
16. Montar el inyector



-
17. Ubicar el módulo de activación de inyector, conectar al inyector.



3.4.6 Operación del banco de pruebas CRDI

Una vez realizada la adecuación, limpieza del banco se procede a utilizar para iniciar el protocolo de pruebas

Tabla 40

Operación del banco

Orden	Descripción	Figura
1.	Alimentar al banco conectando el enchufe a la toma de 220V	
2.	Subir el breaker que permite el paso de los 220 V para el funcionamiento del motor eléctrico y módulo electrónico	
3.	Accionar el botón ON para encender en banco	
4.	Seleccionar rev para el sentido anti horario de giro de la bomba.	

CONTINÚA





5. Girar el potenciómetro hasta alcanzar la frecuencia deseada en este caso 15 Hz.



6. Encender el módulo activador de inyectores, con los parámetros ya establecidos.



7. Comenzar a realizar las pruebas



8. Terminada las horas de trabajo pulsar el botón OFF para apagar el banco



Nota: en caso de emergencia pulsar el botón bloqueo para parar de inmediato el banco.



Figura 48. Botón de emergencia

3.4.7 Trabajos en la bomba de alta presión HP3

a. Desmontaje

Tabla 41

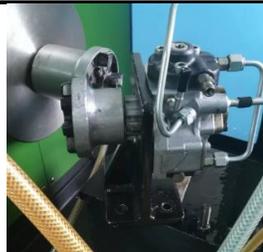
Desmontaje de la bomba

No.	Procedimiento	Figura
1	Desconectar las cañerías de alta presión, alimentación y retorno de combustible de la bomba	
2	Retirar los pernos de fijación de la base de la bomba con una llave 14.	

CONTINÚA



- 3 Extraer la bomba del banco de pruebas junto con su base



b. Desarmado

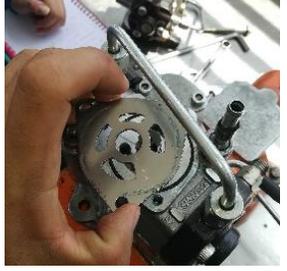
Tabla 42

Desarmado de la bomba

No.	Procedimiento	Figura
4	Anclar la base de la bomba en una entenalla. Utilizando un dado Nro.19 y una palanca de fuerza retirar el perno de fijación del acople de la bomba y el motor eléctrico.	
5	Desanclar la bomba de su base utilizando un dado Nro. 14 con ayuda de una media vuelta y una extensión	
6	Una vez fuera la base de la bomba, anclar la bomba en la entenalla	

CONTINÚA



7	Con el hexágono No.5 retirar los pernos de la tapa de la bomba de alimentación	
8	Extraer la tapa de la bomba de alimentación	
9	Retirar el rotor interno y externo (Tener precaución de la posición del punto de fábrica)	
10	Extraer la chaveta del rotor interno	
11	Extraer el separador (Se recomienda colocar una señal para la correcta posición de la misma)	
12	Con la llave mixta 17, retirar el tubo de alta presión	

CONTINÚA



13	Con el hexágono No. 6 retirar los pernos de las bombas de succión	
14	Extraer el conjunto de la bomba de succión en ambos lados (Utilizar un puntero para señalar la posición)	
15	Retirar el embolo y el resorte	
16	Extraer la tapa de la bomba utilizando un hexagonal No.5 (señalar la posición de la tapa con un puntero)	
17	Utilizando un martillo dar un golpe suave sobre el árbol de levas para extraer la tapa	
18	Extraer la leva y el árbol de levas. (Verificar que la posición de contacto de la leva este orientada con la cara del embolo en el armado).	

c. Armado

Para el procedimiento armado de la bomba de alta presión Denso, se realizan los pasos de desarmado de manera inversa, se debe tener en cuenta los puntos de referencia, así como se recomienda aplicar grasa en los sitios donde se alojan las juntas tóricas y limpiar los componentes con WD-40.

3.4.8 Trabajos realizados en el inyector Denso

Una vez terminada cada protocolo de pruebas en los tiempos de 50, 100, 150 y 200 horas es necesario realizar el desmontaje del inyector, para poder analizar el desgaste que sufre el inyector al utilizar mezcla combustible surfactante de agua.

a. Desmontaje

Tabla 43

Desmontaje del inyector Denso serie 6521

Orden	Procedimiento	Figura
1.	Apagar el módulo de activación y el banco de pruebas, desconectar el socket del inyector	
2.	Utilizar una llave 12 para desajustar la tuerca de retorno	

CONTINÚA



de combustible. Sentido anti horario



-
3. Con una llave $\frac{5}{8}$ de pulgada destornillar en sentido anti horario la tuerca de la cañería de alta presión



-
4. Colocar una manguera en la cañería para evitar derrame de combustible.



b. Desarmado

Tabla 44

Desarmado del inyector

Orden	Procedimiento	Figura
1.	Ubicar el inyector en posición vertical en una entenalla o soporte	
2.	Con una copa No. 21 desajustar el porta toberas continuar destornillando con la mano hasta que este flojo y pueda salir con facilidad.	
3.	Sacar la tobera del porta toberas con la mano hacia arriba, tener cuidado.	

CONTINÚA



-
4. Extraer la aguja que se encuentra dentro de la tobera



-
5. Con mucho cuidado sacar el rotor junto con las dos guías



-
6. Extraer la varilla de empuje junto con el resorte



-
7. Dar un golpe suave al inyector contra la mano para que puedan salir las arandelas de presión superior e inferior



CONTINÚA



8. Extraer el émbolo de mando**c. Armado**

Se realiza el mismo procedimiento del desarmado pero de manera inversa, al momento de ajustar el porta toberas es recomendable hacerlo con la mano y luego torquear a 50 Nm

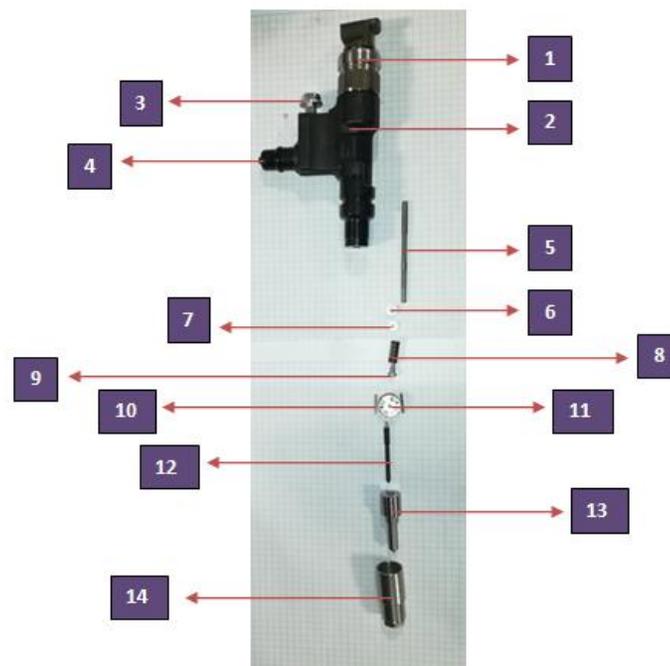
d. Despiece y partes del inyector

Figura 49. Despiece del inyector Denso**Tabla 45***Partes del inyector 6521*

NÚMERO	PARTE
1	Bobina
2	Cuerpo
3	Conducto de retorno
4	Conducto de succión
5	Émbolo de mando
6	Arandela de presión superior
7	Arandela de presión inferior
8	Resorte
9	Varilla de empuje
10	Guías
11	Rotor
12	Aguja
13	Tobera
14	Porta tobera

3.5 Comprobación del estado de inyectores utilizando banco de pruebas SPEDMAQ S40s

El inyector después de cada 50 horas de funcionamiento con la mezcla, se le realizo pruebas estándar en el banco Spedmaq S40s, para llevar a cabo estas pruebas es necesario desarma y limpiar exhaustivamente con WD-40 las piezas del inyector, la prueba empieza con una purga general del sistema, las pruebas que se le realizar en l duran aproximadamente 10 minutos las cuales son:

3.5.5 Estanqueidad

En esta prueba el banco le somete a una presión de 1010 bares al inyector, para comprobar que exila hermeticidad en ese, y que nada del exterior entre ni que nada del interior salga.

Esta prueba dura 50 segundos con una alimentación de 0,6 bar y se realiza bajo los siguientes parámetro expuestos en la tabla 29

Tabla 46

Valores de los parámetros de a prueba de estanqueidad

Parámetro	Valor
Frecuencia (Hercios)	15Hz
Tiempo de inyección (milisegundos)	2000 ms
Presión (Bares)	10100 Bar

3.5.6 Pre inyección

Esta prueba dura 30 segundos con una alimentación de 0,7 bar y se realiza bajo los siguientes parámetro expuestos en la tabla 53:

Tabla 47

Valores de los parámetros de a prueba de pre inyección

Parámetro	Valor
Frecuencia (Hercios)	66,67 Hz
Tiempo de inyección (milisegundos)	160 ms
Presión (Bares)	800r

3.5.7 Ralentí

Esta prueba dura 50 segundos con una alimentación de 0,7 bar y se realiza bajo los siguientes parámetro expuestos en la tabla 31

Tabla 48

Valores de los parámetros de ralentí

Parámetro	Valor
Frecuencia (Hercios)	6,67 Hz
Tiempo de inyección (milisegundos)	10000 ms
Presión (Bares)	800r

3.5.8 Plena carga

Esta prueba duro 30 segundos con una alimentación de 0,6 bar y se realiza bajo los siguientes parámetro expuestos en la tabla 32

Tabla 49

Valores de los parámetros de la prueba de plena carga

Parámetro	Valor
Frecuencia (Hercios)	16,7 Hz
Tiempo de inyección (milisegundos)	1000 ms
Presión (Bares)	1000 Bar

Al final de cada prueba se obtiene una tabla general de los valores anotados en cada una de las pruebas, estos valores son de retorno y caudal. Son comparados con el manual del fabricante del inyector en la cual se visualizó si está dentro de los parámetros correctos.

Identificador do Veículo		CNPJ		Fecha		Tiempo	
				01/01/2010		08:07:02	
Resultados				Tipo de Inyector			
Operator				Denso 095000 6521 Hino Datro			
Prueba				<input type="checkbox"/> Válvula de Presión			
<input type="checkbox"/> Sensor de Presión							
VE - Prueba de Estanqueidad							
Caldal		0 a 0mm	0	0	0	0	0
Retorno		0 a 20mm	5	0	0	0	0
PI - Prueba de Pre Inyeccion							
Caldal		70 a 85mm	59	0	0	0	0
Retorno		25 a 35mm	25	0	0	0	0
MI - Prueba de Retenti							
Caldal		10 a 20mm	9	0	0	0	0
Retorno		5 a 10mm	7	0	0	0	0
PC - Prueba de Plena Carga							
Caldal		45 a 60mm	55	0	0	0	0
Retorno		15 a 25mm	16	0	0	0	0
VE - Teste de Estanquidade							
Caldal		0 a 0mm	0	0	0	0	0
Retorno		0 a 70mm	0	0	0	0	0
Observações							

Figura 50. Resultados finales de cada prueba realizada

3.6 Protocolo de visualización de microestructuras

Para este protocolo se utilizó un microscopio el cual ayuda a inspeccionar la presencia de desprendimiento, desgaste o contaminación en la superficie de los materiales que son fabricados los componentes del inyector al utilizar mezcla-combustible surfactantes de agua, comparando imágenes con un inyector nuevo y con el inyector que fue expuesto a las horas de trabajo mencionadas.

- **Preparación de los elementos a visualizar**

La orientación de la visualización está enfocada en los principales elementos que están expuestos en contacto con material o libre de rozamiento pero que están en contacto directo con el combustible

Los elementos a analizar son:

- Émbolo de mando en tres sectores
- La guja

- EL contorno del agujero de la tobera



Figura 51. Sectores analizados émbolo de mando

Para visualizar estos elementos es importante proceder al desarmado siguiendo los pasos expuestos en las tablas 47 y 50 y de igual manera limpiar con WD 40 el exceso de combustible.

- **Preparación del microscopio**

1. Alimentar a 110 V, encender
2. Conectar el puerto de la lámpara
3. Conectar el puerto de la cámara con el de la computadora
4. Abrir el programa en la PC para visualizar la imagen
5. Limpiar los lentes
6. Calibrar

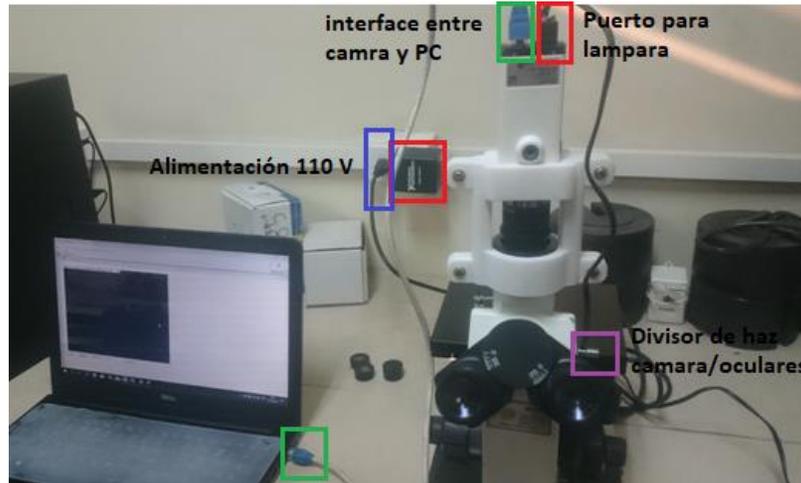


Figura 52. Preparación del equipo

- **Visualización de microestructuras**

1. Colocar la pieza en la platina
2. Sostener y ajustar con el elemento de ayuda
3. Mover el revólver quintuple hasta llegar al lente 10X color amarillo
4. Mover la platina con la ayuda de las perilla hacia adelante, atrás, izquierda o derecha
5. Con la ayuda de la perrilla de la abertura del diafragma que se moverá de arriba o hacia abajo se visualizó la sobra de la imagen
6. Mover el control de enfoque hasta obtener una imagen nítida y clara
7. Mover la perrilla de luz de acuerdo al brillo que se necesite.



Figura 53. Colocación del elemento



Figura 54. Utilización del microscopio

Como paso final se hizo capturas de las imágenes que se visualizó. Para su posterior análisis en el capítulo IV

3.7 Medición de rugosidad de las superficies

3.7.5 Preparación de elementos

Para utilizar estos elementos es importante proceder al desarmado siguiendo los pasos expuestos en la tabla 50 para el inyector y la tabla 47 para la bomba de alta presión.

Limpiar con WD 40 y secar los elementos a analizar de manera que no interfiera en la medición de rugosidad.

Los elementos para realizar la prueba tanto del inyector como de la bomba son:

- **Inyector**

1. El émbolo de mando analizado en tres sectores



Figura 55. Sectores inspeccionados en el émbolo de mando

2. La aguja

- **Bomba de alta presión**

1. Leva
2. Árbol de levas en 3 sectores



Figura 56. Sectores analizados en el árbol de levas

3.7.6 Preparación del equipo

- Colocar el sensor con la aguja hacia abajo en el rugosímetro, la cual va a estar en contacto con el elemento que se analice, ubicar fijándose en las guías que poseen ambos

- Prender presionando el botón azul, volver al presionar para encender la luz de pantalla
- Calibrar, para este paso se utiliza una placa de acrílico la cual tiene una medida que es de $1,56\mu\text{m}$ de rugosidad (R_a), esta se ubica junto a su base, se inicia la calibración presionando el botón start para iniciar la lectura, si la medida que indica al finalizar la prueba es de la antes mencionada quiere decir que el rugosímetro está calibrado caso contrario se siguen los siguientes pasos; entrar al menú y seleccionar la opción measure setup donde se despliega varios parámetros tales como; cutoff que es el recorrido de salida que va a tener el sensor en este caso es de 0.8mm esto dependiendo de la longitud de onda que se analice, la siguiente opción es de estandarización que se elige ISO y por último el rango de tolerancia que puede ser de $\pm 20\mu\text{m}$, $\pm 40\mu\text{m}$, $\pm 80\mu\text{m}$, en este caso se deja $\pm 40\mu\text{m}$ que es un intermedio. Después regresar al menú y elegir la opción calibración donde se muestra en la pantalla las tres tolerancia antes mencionadas como en este caso fue de $40\mu\text{m}$ se cambia el valor de apreciación de $-0,5\%$, regresar a la pantalla de inicio y volver a presionar el botón start donde terminada la prueba indica que el rugosímetro está calibrado ya que está dentro del valor.



Figura 57. Utilización del equipo

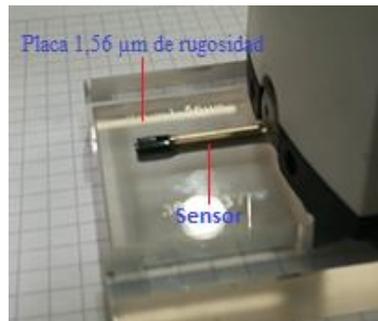


Figura 58. Calibración del rugosímetro

3.7.7 Medición de rugosidad

- Colocar el elemento de manera que no se mueva al momento de iniciar la prueba, verificar que se encuentre nivelado junto con el equipo.

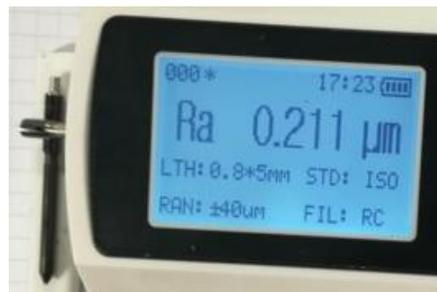


Figura 59. Medición de rugosidad de la aguja

- Se realizó el recorrido del sensor tres veces en cada elemento medido para obtener un promedio de los tres valores

3.8 Protocolo del pesaje de los elementos internos de la bomba e inyector

Para el inicio de este protocolo es necesario desarmar el inyector y la bomba de alta presión, ya que se analizó los elementos internos, los cuales mediante el pesaje se visualizó si existe presencia de desgaste a través de la pérdida de masa por desprendimiento de material de los que son fabricados estos elementos.

Los resultados son comparados mediante valores de pesaje en tablas y graficas del inyector a 0 horas de funcionamiento con el de 50, 100,150 y 20 horas de trabajo que se sometió.

Se realizó el pesaje con la ayuda de una balanza analítica Adam para los elementos que no superen los 4 Kg, analizados con una legibilidad de 0,001 de precisión y para los elementos que superan el peso de 4kg se utilizó la balanza de precisión BPS 51 plus marca BOECO con una legibilidad 0,01 gr de precisión. Estos instrumentos ayudan a que el valor visualizado sea el preciso y correcto.

3.8.5 Preparación de elementos

Una vez desarmados los elementos, se utilizó una bandeja en la cual se limpió los restos de mezcla- combustible con spray limpia carburador, seguidamente se secaron con guaípe a los elemento.

Los elementos para realizar el pesaje tanto del inyector como de la bomba son:

a. Inyector

Tabla 50

Elementos requeridos para el pesaje del inyector

Elementos internos del inyector	• Portatobera
	• Tobera
	• Rotor
	• Varilla de empuje

CONTINÚA



-
- Aguja

 - Resorte

 - Guía I

 - Guía II

 - Arandela de presión superior

 - Arandela de presión inferior

 - Embolo de mando
-

b. Bomba

Tabla 51

Elementos requeridos para el pesaje de la bomba

	• Rotor interno
	• Rotor externo
	• Separador
	• Tapa de la bomba de alimentación
	• Bomba de succión inferior
Elementos internos de la bomba	• Bomba de succión superior
	• Embolo de buzo inferior
	• Embolo de buzo superior
	• Leva anular
	• Tapa
	• Árbol de levas

3.8.6 Pesaje de elementos

- Es importante antes de utilizar la balanza calibrar la masa, de igual manera se escoge las unidades a trabajar, una vez realizado estos pasos se procede a pesar el elemento.



Figura 60. Pesaje del émbolo de mando

- Se recomienda esperar un momento hasta que se estabilice el peso y poder visualizar el valor correcto
- Una vez pesado el primero elemento se procedió a encerrar la balanza para pesar el siguiente elemento.

CAPÍTULO IV

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

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

La bomba de alta presión es accionada por un motor eléctrico que le permite girar a un régimen de 900 RPM, velocidad con la cual la bomba genera una presión de 300 bares, al trabajar con la mezcla combustible generó cambios mensurables en sus elementos, los mismos que a través de herramientas tecnológicas se logró verificar su comportamiento.

4.1.1 Peso

Las mediciones de peso de las piezas de la bomba Denso de alta presión funcionando con la mezcla diésel – surfactante de agua, se efectuaron mediante el uso de balanzas analíticas de tres y cuatro décimas de exactitud, debido a que existen componentes con un peso mayor de 200 gramos.

A continuación, se muestran las gráficas de peso de cada componente de la bomba Denso en cada intervalo de funcionamiento. Las gráficas muestran la tendencia de los valores de desgaste.

La estimación de los kilómetros recorridos por el vehículo en referencia a las horas de funcionamiento se aproximó tomando las siguientes consideraciones:

- Régimen motor: 2500 rpm
- Relación caja: 4ta (1:1)

- Relación diferencial: 6.14
- Rin neumático: 17.5 in

a. Rotor interno

Es un componente perteneciente a la fase de alimentación de la bomba, el cual está unido al eje de levas de la bomba mediante una chaveta.



Figura 61. Rotor interno

Tabla 52

Desgaste del rotor interno

Elemento	0	50	100	150	200	Horas
	0	3400	7000	10200	13600	Km
Rotor interno	28.7394	28.7349	28.7348	28.7305	28.7220	Gramos

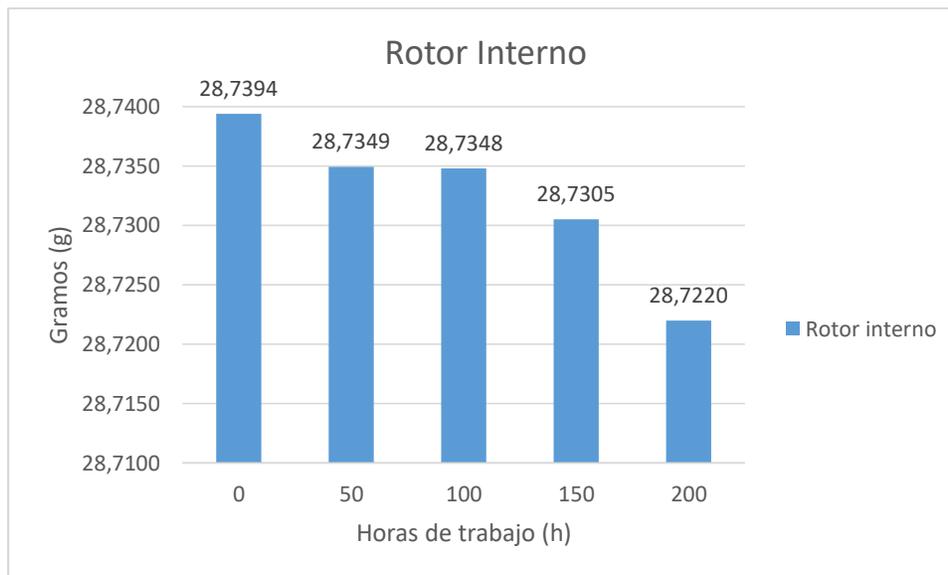


Figura 62. Desgaste del rotor interno

En la figura 66, se puede apreciar el desgaste del rotor interno de la bomba, en donde se obtuvo una reducción de 0.0174 g entre el valor máximo y mínimo que representa el 0.060 % del peso inicial. El punto donde se presentó la mayor reducción de peso fue al trabajar entre 150 y 200 horas.

b. Rotor externo

El rotor externo junto con el rotor interno, son los encargados de proveer el combustible de alimentación hacia los émbolos de la parte de alta presión, generan una presión de 2 bares.



Figura 63. Rotor externo

Tabla 53

Desgaste del rotor externo

Elemento	0	50	100	150	200	Horas
	0	3400	7000	10200	13600	Km
Rotor externo	35.2184	35.2145	35.2132	35.2061	35.1938	Gramos

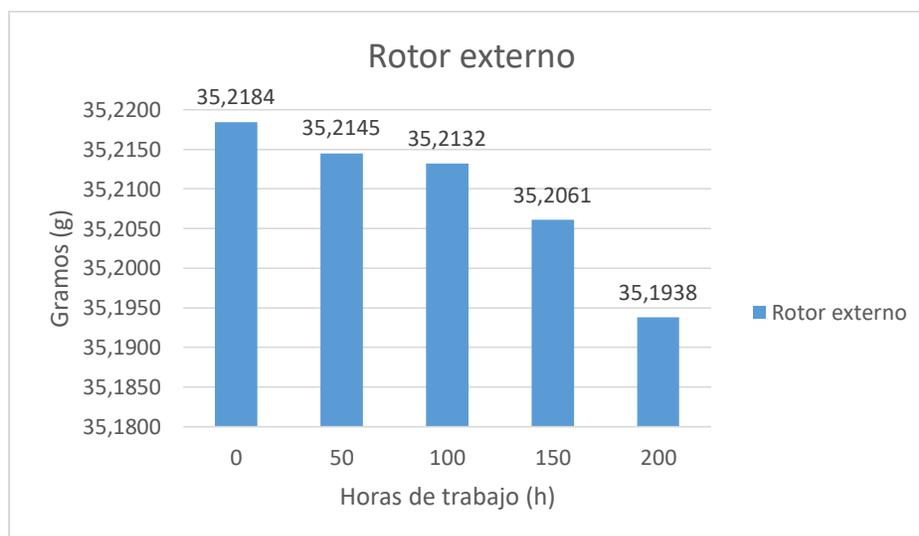


Figura 64. Desgaste del rotor externo

En la figura 68, se observa el desgaste del rotor externo de la bomba de alta presión, en donde se encontró una reducción de 0.0246 g entre el valor máximo y mínimo que representa el 0.070 % del peso inicial. El punto donde se presentó la mayor reducción de peso fue al trabajar entre 150 y 200 horas.

c. Separador

Es la placa que separa la bomba de alimentación del cuerpo de la bomba de alta presión, su superficie permite el giro de los rotores.



Figura 65. Separador

Tabla 54

Desgaste del separador

Elemento	0	50	100	150	200	Horas
	0	3400	7000	10200	13600	Km
Separador	48.2910	48.2842	48.2825	48.2823	48.2809	Gramos



Figura 66. Desgaste del separador

En la figura 70, se puede constatar el desgaste del separador de la bomba, en donde se generó una reducción de 0.0101 g entre el valor máximo y mínimo que representa el 0.020 % del peso inicial. El punto donde se produjo la mayor reducción de peso fue al trabajar entre 50 y 100 horas.

d. Tapa de la bomba de alimentación

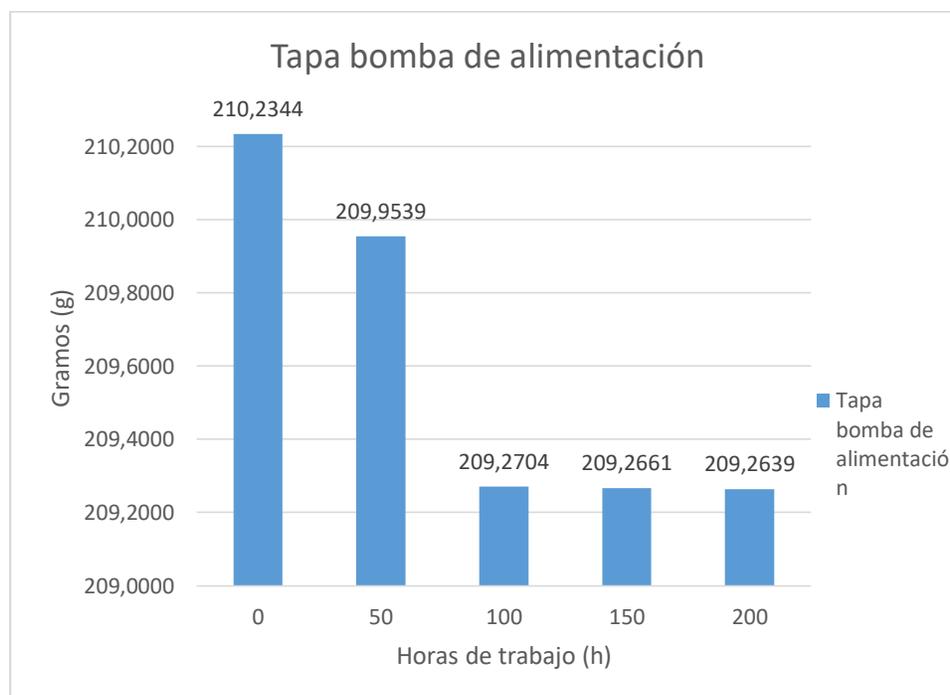
Es la encargada de alojar los componentes de la bomba de alimentación, posee una junta tórica para su hermeticidad.



Figura 67. Tapa de la bomba de alimentación

Tabla 55*Desgaste de la tapa de la bomba de alimentación*

Elemento	0	50	100	150	200	Horas
	0	3400	7000	10200	13600	Km
Tapa de la bomba de alimentación	210.2344	209.9539	209.2704	209.2661	209.2639	Gramos

**Figura 68.** Desgaste de la tapa de la bomba de alimentación

En la figura 72, se puede apreciar el desgaste de la tapa de la bomba de alimentación, en donde se obtuvo una reducción de 0.970 g entre el valor máximo y mínimo que representa el 0.461 % del peso inicial. Siendo uno de los componentes de la

bomba que mayor desgaste presentó. El punto donde se produjo la mayor reducción de peso fue al trabajar entre 50 y 100 horas.

e. Bomba de succión inferior

Es la encargada de alojar los émbolos de bombeo, permite elevar la presión del combustible, conduciéndolo hacia la salida de las cañerías de alta presión.



Figura 69. Bomba de succión inferior

Tabla 56

Desgaste de la bomba de succión inferior

Elemento	0	50	100	150	200	Horas
	0	3400	7000	10200	13600	Km
Bomba de succión inferior	607.680	607.674	607.565	607.266	607.260	Gramos

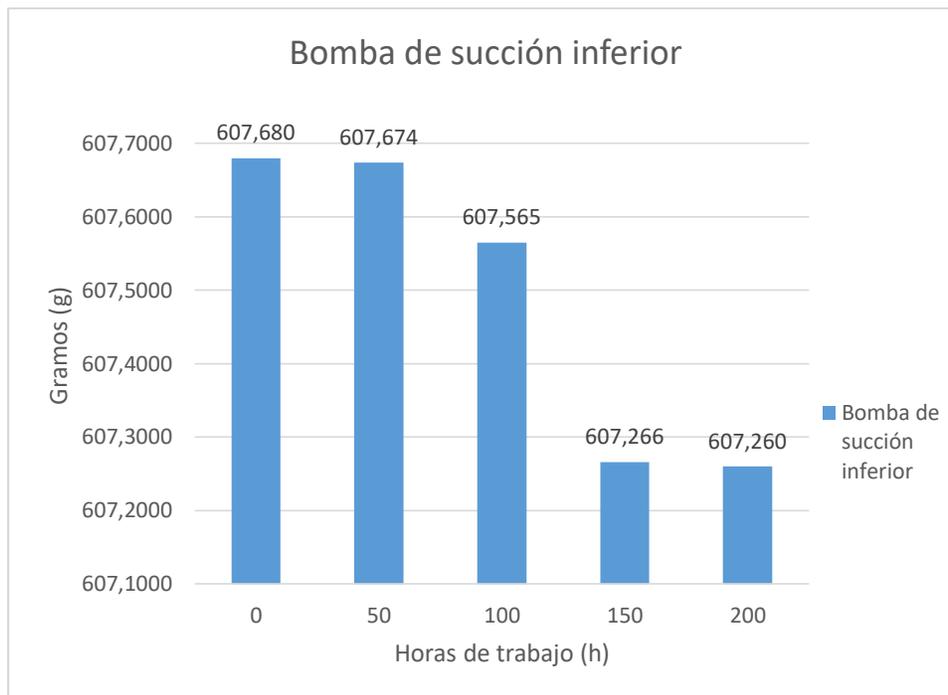


Figura 70. Desgaste de la bomba de succión inferior

En la figura 74 se puede visualizar el desgaste de la bomba de succión inferior, en donde el peso máximo fue de 607.680 g y el peso mínimo fue de 607.260 g, se generó un desgaste de 0.420 g que representa el 0.069 % del peso inicial. El punto donde se produjo la mayor reducción de peso fue al trabajar entre 100 y 150 horas.

f. Émbolo buzo inferior

Este componente recibe el movimiento de la leva anular, es el encargado de bombear la mezcla combustible por conductos a una elevada presión.



Figura 71. Émbolo buzo inferior

Tabla 57

Desgaste del émbolo buzo inferior

Elemento	0	50	100	150	200	Horas
	0	3400	7000	10200	13600	Km
Émbolo buzo inferior	34.2656	34.2654	34.2654	34.2654	34.2654	Gramos

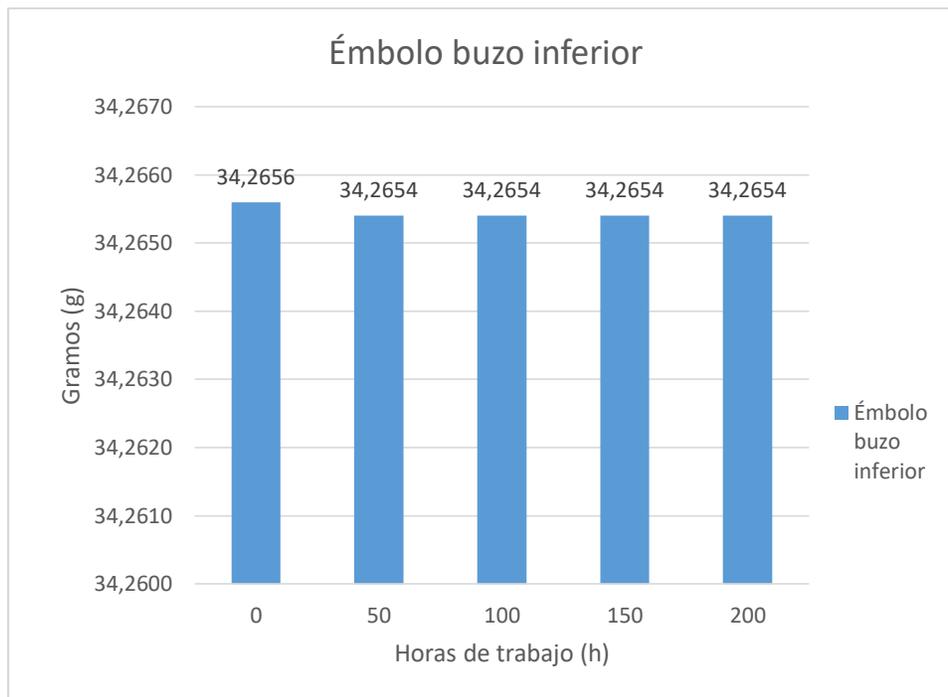


Figura 72. Desgaste del émbolo buzo inferior

En la figura 76, se logra evidenciar el desgaste del émbolo buzo inferior, en donde la reducción de su masa fue de 0.0002 g, valor que representa la diferencia entre el valor máximo y mínimo que resultó ser el 0.0006 % del peso inicial. Se puede observar que el único cambio de peso que presento este componente fue entre las 0 y 50 horas, sin variaciones hasta el final de las pruebas.

g. Bomba de succión superior

Acoge al embolo buzo superior, permitiendo que este genere un movimiento lineal para poder generar el bombeo de la mezcla combustible a una alta presión.



Figura 73. Bomba de succión superior

Tabla 58

Desgaste de la bomba de succión superior

Elemento	0	50	100	150	200	Horas
	0	3400	7000	10200	13600	Km
Bomba de succión superior	599.974	599.619	599.596	598.989	598.999	Gramos

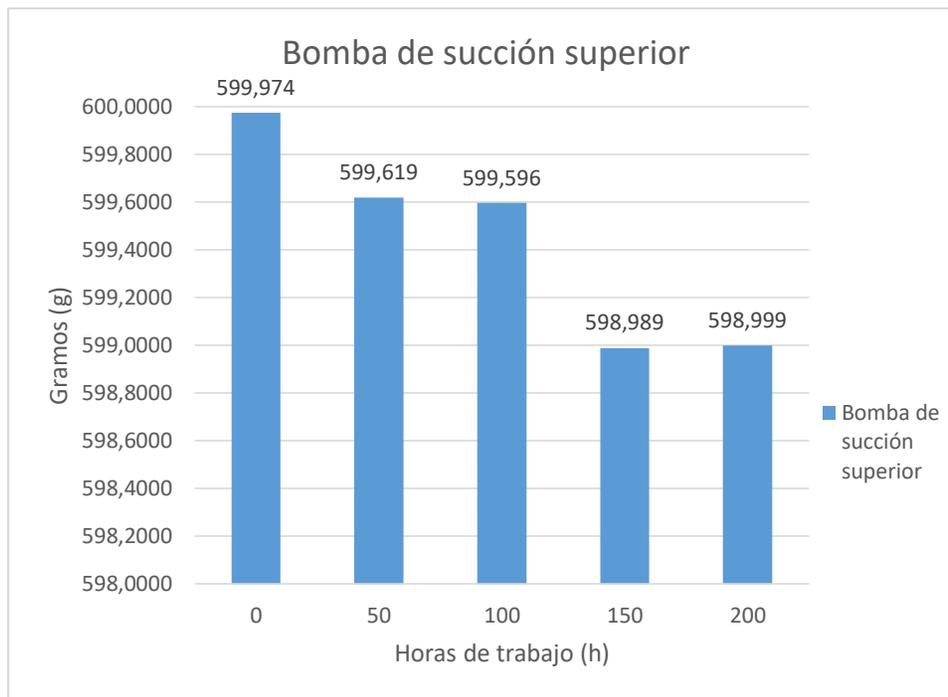


Figura 74. Desgaste de la bomba de succión superior

En la figura 78, se puede observar el desgaste de la bomba de succión superior, en donde se generó una reducción de 0.975 g entre el valor máximo y mínimo que representa el 0.162 % del peso inicial. Siendo uno de los componentes que mayor desgaste presentó en la bomba de alta presión al utilizar la mezcla combustible. El punto donde el desgaste fue mayor se encontró entre las 100 y 150 horas.

h. Émbolo de buzo superior

Este componente accionado por la leva anular es el encargado de bombear la mezcla combustible por conductos a una presión aproximada de 1000 bares.



Figura 75. Émbolo de buzo superior

Tabla 59

Desgaste del émbolo de buzo superior

Elemento	0	50	100	150	200	Horas
	0	3400	7000	10200	13600	Km
Émbolo de buzo superior	34.2906	34.2714	34.2715	34.2698	34.2700	Gramos

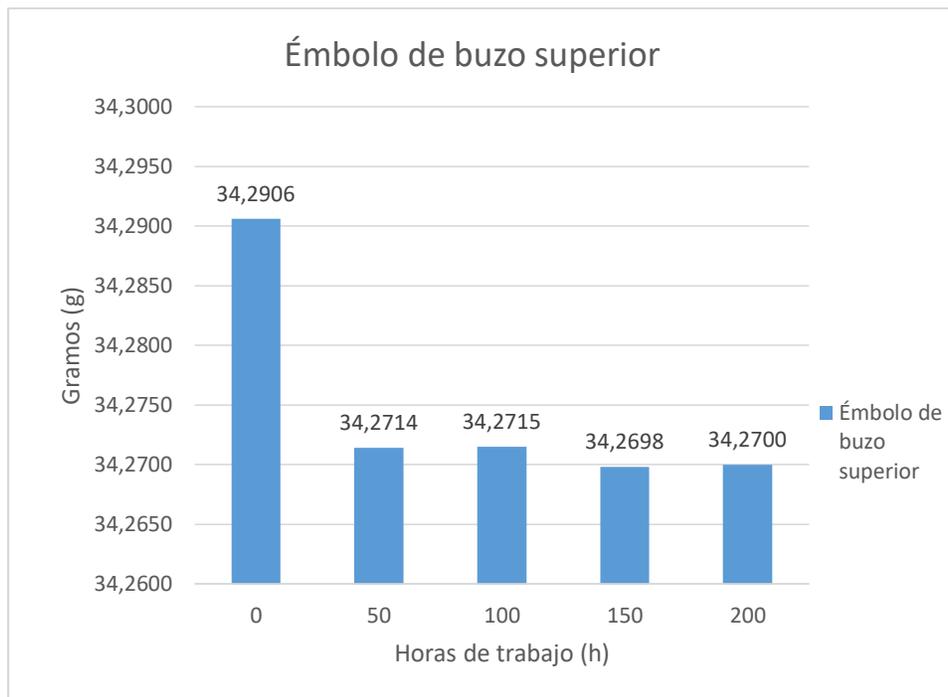


Figura 76. Desgaste del émbolo de buzo superior

En la figura 80, se logra visualizar el desgaste del émbolo buzo superior, en donde se produjo una reducción de 0.0206 g entre el valor máximo y mínimo, el mismo que representa el 0.060 % del peso inicial. Se puede observar que a diferencia con el embolo buzo inferior este componente si presentó una variación de desgaste al finalizar cada periodo de trabajo. El punto más crítico de desgaste fue entre 0 y 50 horas.

i. Leva anular

Ensamblada juntamente con el eje de levas, transmite el movimiento a los émbolos de bombeo de la parte de alta presión.



Figura 77. Leva anular

Tabla 60

Desgaste de la leva anular

Elemento	0	50	100	150	200	Horas
	0	3400	7000	10200	13600	Km
Leva anular	160.7455	160.6678	160.6348	160.6269	160.6247	Gramos

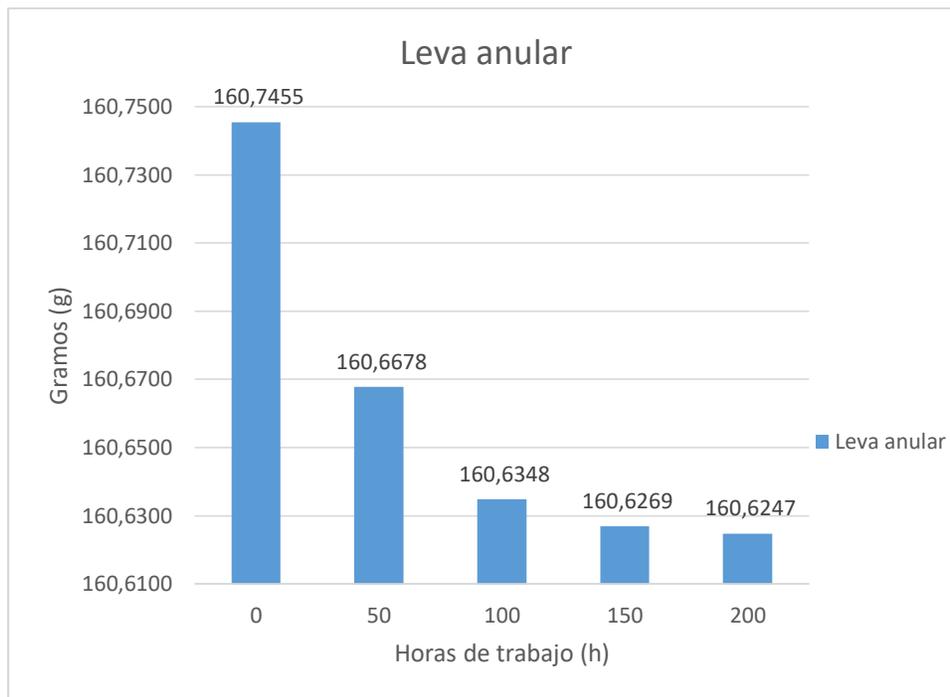


Figura 78. Desgaste de la leva anular

En la figura 82, se puede apreciar el desgaste de la leva anular de la bomba, en donde se obtuvo una reducción de 0.121 g entre el valor máximo y mínimo que representa el 0.075 % del peso inicial. Se puede observar que el desgaste presentado es regular sin variaciones significativas. El punto de mayor desgaste se produjo entre 0 y 50 horas.

j. Tapa

Mantiene completamente hermética a la bomba por medio de su junta tórica, además de que aloja al árbol de levas.



Figura 79. Tapa

Tabla 61

Desgaste de la tapa

Elemento	0	50	100	150	200	Horas
	0	3400	7000	10200	13600	Km
Tapa	288.180	288.143	288.125	287.903	287.898	Gramos

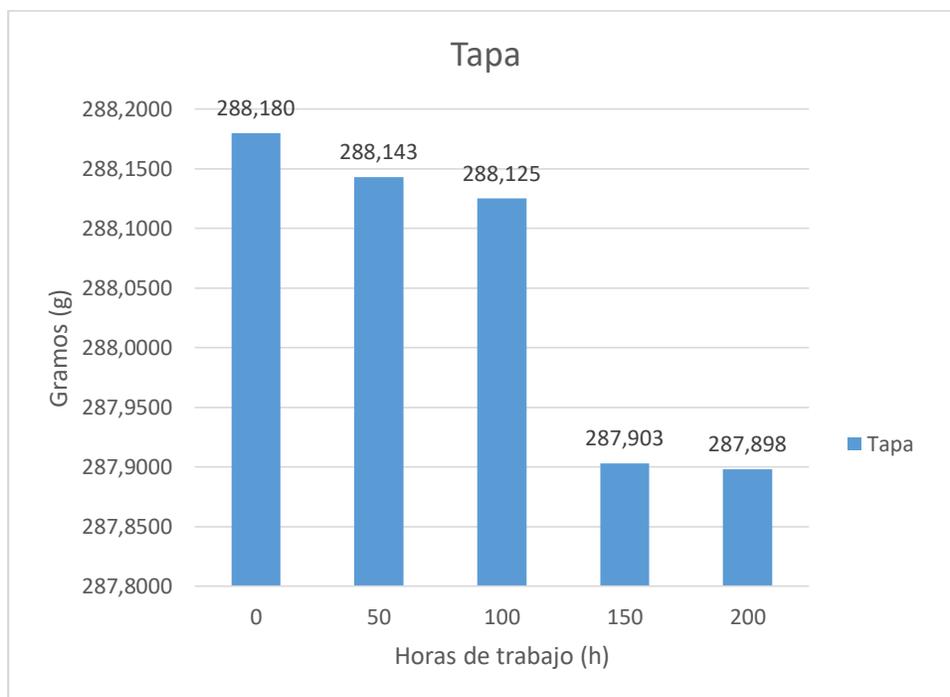


Figura 80. Desgaste de la tapa

En la figura 84, se visualiza el desgaste de la tapa de la bomba, en donde su masa se redujo 0.282 g entre el valor máximo y mínimo que representa el 0.0978 % del peso inicial. El punto donde de mayor desgaste fue entre 100 y 150 horas.

k. **Árbol de levas**

Es el elemento que va conectado al eje del cigüeñal, el cual acciona a la bomba de alimentación y a la leva anular para generar las altas presiones de funcionamiento del sistema.



Figura 81. Árbol de levas

Tabla 62

Desgaste del árbol de levas

Elemento	0	50	100	150	200	Horas
	0	3400	7000	10200	13600	Km
Árbol de levas	288.007	287.983	287.975	287.975	287.974	Gramos

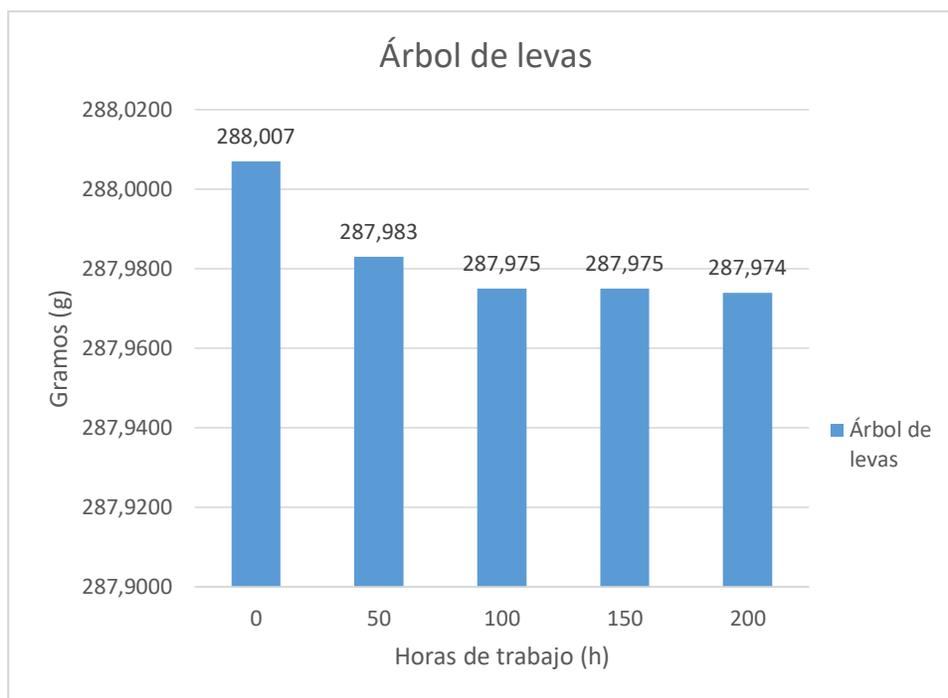
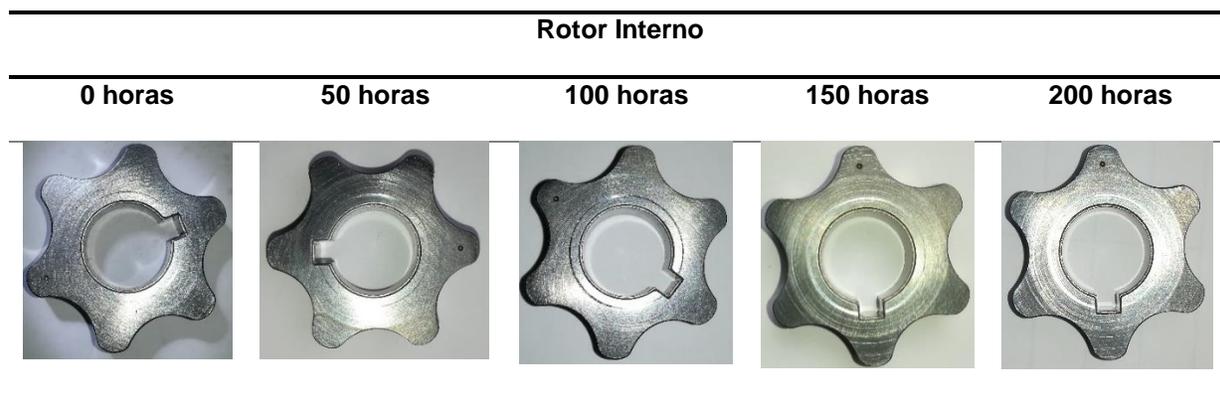


Figura 82. Desgaste del árbol de levas

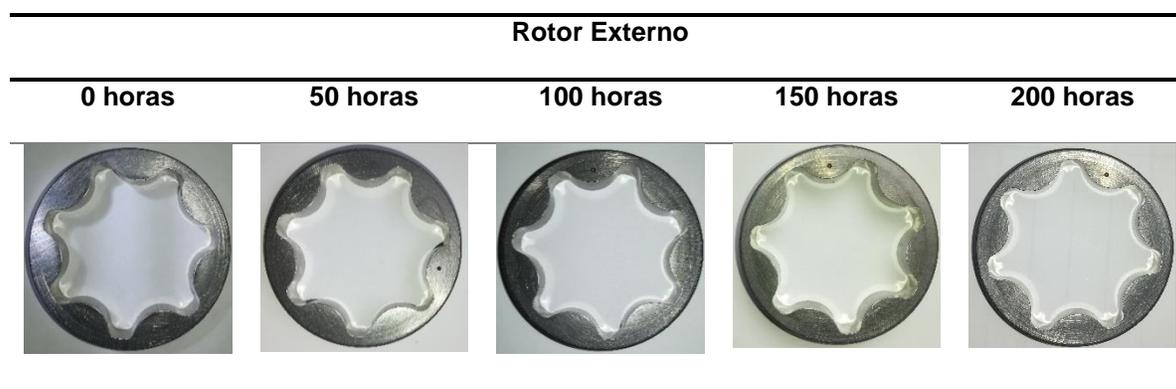
En la figura 86, se presenta el desgaste del árbol de levas de la bomba de alta presión, en donde se produjo una reducción de 0.033 g entre el valor máximo y mínimo que representa el 0.0114 % del peso inicial. Se puede observar que este componente presentó un desgaste insignificante pese a ser un elemento que está en constante fricción. El punto de mayor desgaste fue entre 0 y 50 horas.

4.1.2 Inspección visual de los componentes

El análisis visual del comportamiento de componentes de la bomba de alta presión Denso se realizó en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE extensión Latacunga, en los laboratorios de petroquímica, se revisó el estado de los componentes en 50, 100, 150 y 200 horas de trabajo con la mezcla diésel – surfactante de agua, a una distancia y luz propuesta exacta en cada caso.

Tabla 63*Comportamiento del material en el rotor interno*

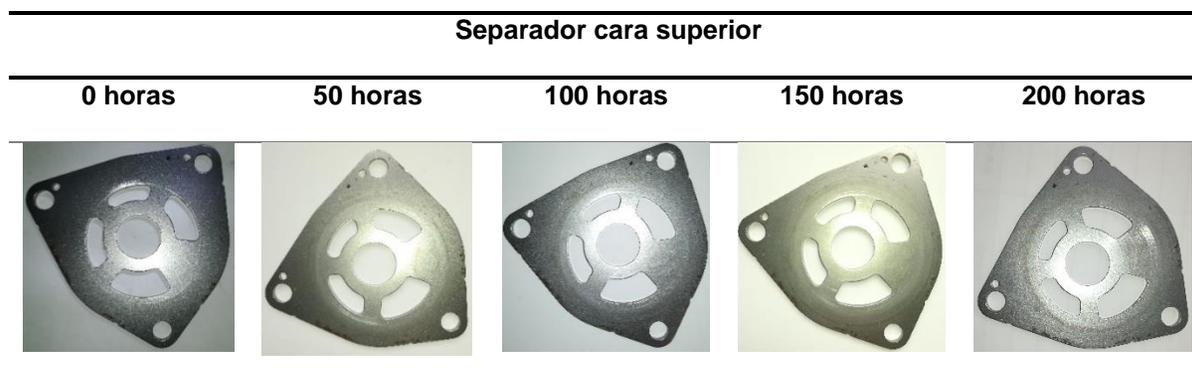
En la tabla 69, se presenta el desgaste del rotor interno de la bomba de alimentación, en donde se puede visualizar que no presenta ningún cambio significativo al utilizar la mezcla combustible.

Tabla 64*Comportamiento del material en el rotor externo*

En la tabla 70, se puede apreciar el desgaste del rotor exterior de la bomba de alimentación, en donde se puede observar que no presenta ningún cambio significativo al utilizar la mezcla combustible.

Tabla 65

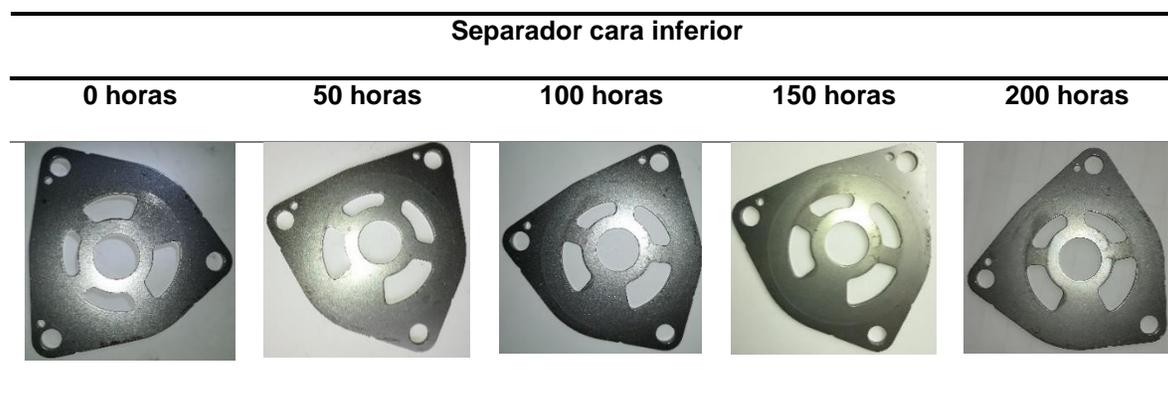
Comportamiento del material en el separador cara superior



En la tabla 71, se presenta el desgaste del separador cara superior de la bomba de alimentación, en donde se puede corroborar que existe una falta de lubricidad en la superficie de contacto con el rotor interno y externo.

Tabla 66

Comportamiento del material en el separador cara inferior



En la tabla 72, se puede observar el desgaste del separador cara inferior de la bomba de alimentación, en donde no se presenta ningún cambio significativo al utilizar la mezcla combustible, debido a que este lado del separador no sufre ningún tipo de fricción.

Tabla 67

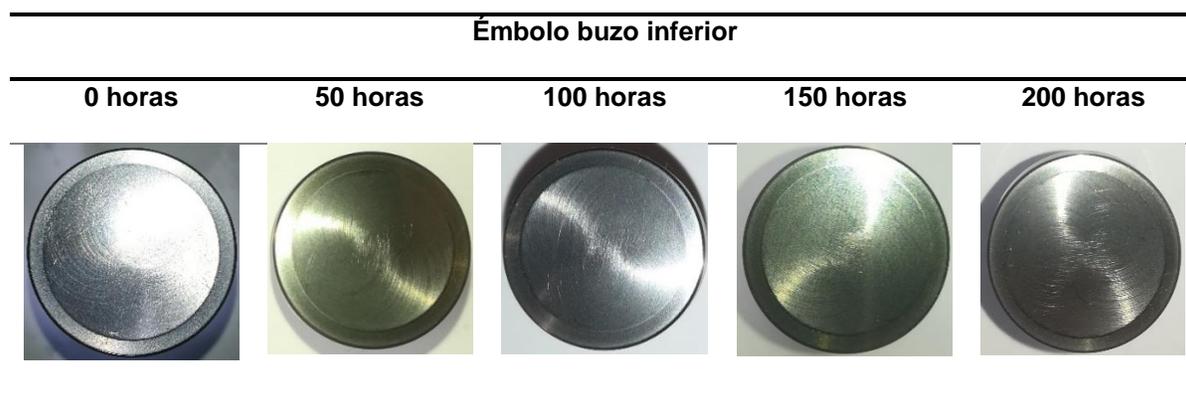
Comportamiento del material en el émbolo buzo superior

Émbolo buzo superior				
0 horas	50 horas	100 horas	150 horas	200 horas
				

En la tabla 73, se puede visualizar el desgaste del émbolo buzo superior de la bomba de alta presión, en donde no se presenta ningún cambio significativo al utilizar la mezcla combustible.

Tabla 68

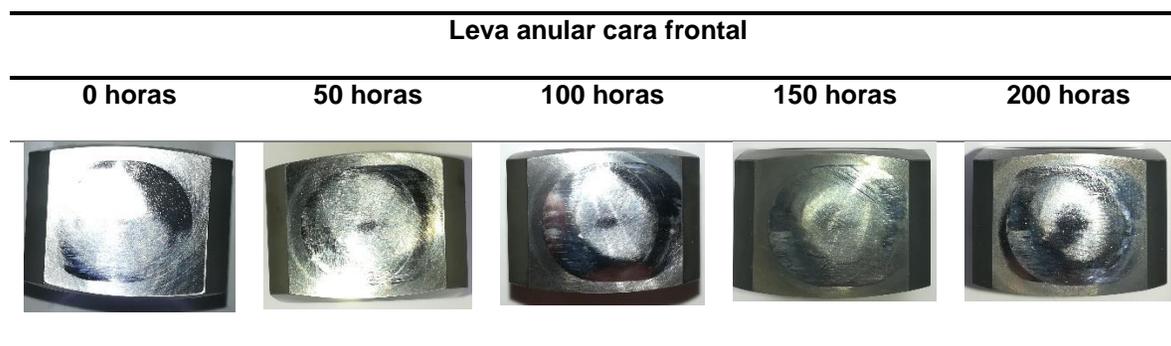
Comportamiento del material en el émbolo buzo inferior



En la tabla 74, se puede apreciar el desgaste del émbolo buzo inferior de la bomba de alta presión, en donde se observa que no presenta ningún cambio significativo al utilizar la mezcla combustible.

Tabla 69

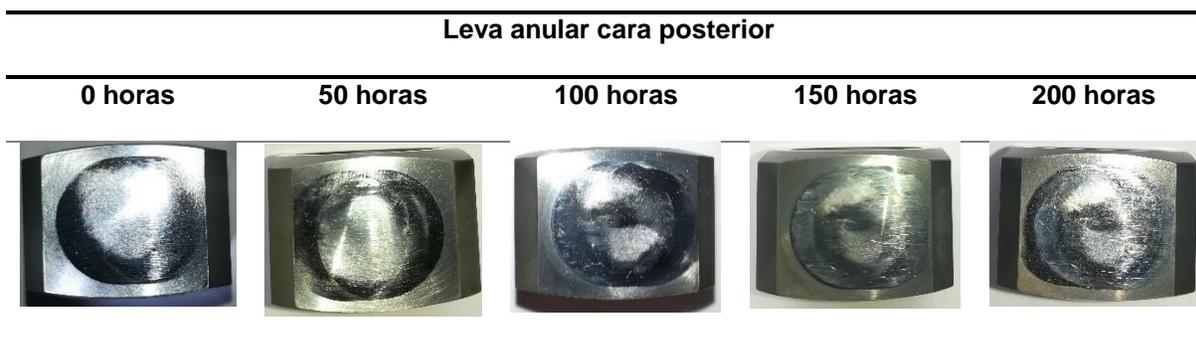
Comportamiento del material en la leva anular cara frontal



En la tabla 75, se presenta el desgaste de la leva anular cara frontal de la bomba de alta presión, en donde se puede observar que la huella de contacto varía en cada periodo de funcionamiento lo que indica una falta de lubricidad en la misma.

Tabla 70

Comportamiento del material en la leva anular cara posterior



En la tabla 76, se muestra el desgaste de la leva anular cara posterior de la bomba de alta presión, en donde se corrobora que la huella de contacto varía en cada periodo de funcionamiento lo que indica una falta de lubricidad en la misma, al igual que en la cara frontal.

4.1.3 Análisis de rugosidad de la bomba de alta presión Denso

El análisis de rugosidad realizado a la bomba de alta presión Denso, se efectuó en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE extensión Latacunga, en el laboratorio de motores, mediante el Rugosímetro CMSRT210 SURFACE ROUGHNESS TESTER, con el cual se determinó las variaciones de rugosidad de los principales elementos expuestos a fricción de la bomba de alta presión en ciclos de 50, 100, 150 y 200 horas de funcionamiento con la mezcla diésel-surfactantes de agua al 20%.



Figura 83. Árbol de levas y sectores de contacto

En la figura 87, se observa los sectores de contacto en el árbol de levas en los cuales se realizó el análisis superficial.

Tabla 71

Valores de rugosidad en el árbol de levas sector 1

Árbol de levas sector 1					
Horas	0	50	100	150	200
Ra(μm)	0.121	0.138	0.158	0.162	0.185

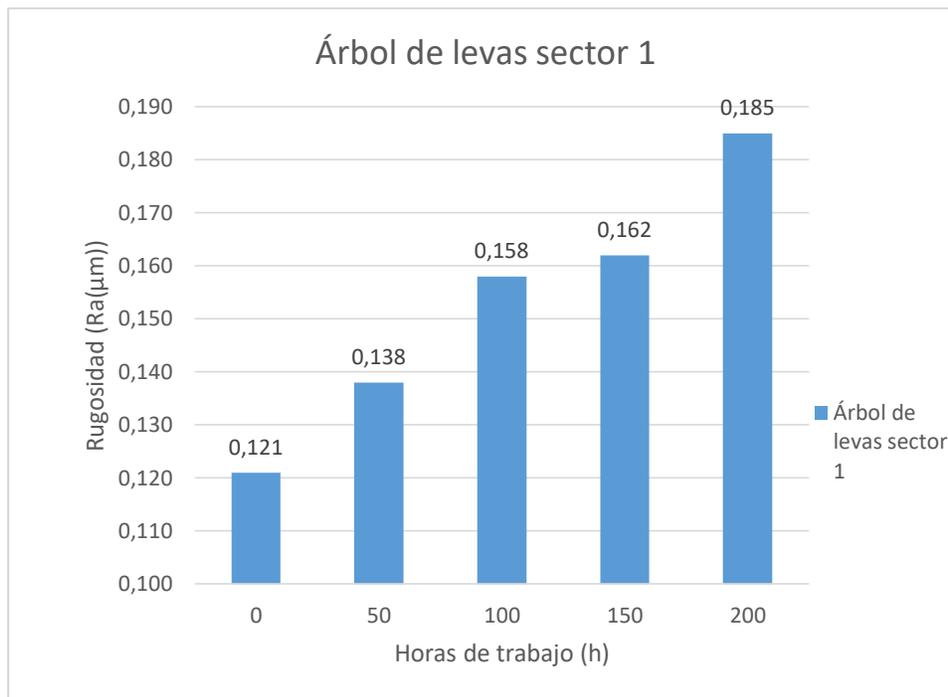


Figura 84. Valores de rugosidad en el árbol de levas sector 1

En la figura 88, se representa el cambio de rugosidad que sufrió la superficie del árbol de levas en el sector 1, en donde se puede observar que la rugosidad aumento conforme aumentaron las horas de funcionamiento, se obtuvo una variación de $0.064 \mu\text{m}$ entre el valor mínimo y máximo, aumentando su rugosidad en 52.89 % con un máximo de $0.185 \mu\text{m}$. Con el punto más relevante entre 150 y 200 horas.

Tabla 72

Valores de rugosidad en el árbol de levas sector 2

Árbol de levas sector 2					
Horas	0	50	100	150	200
Ra(μm)	0.275	0.400	0.413	0.498	0.533

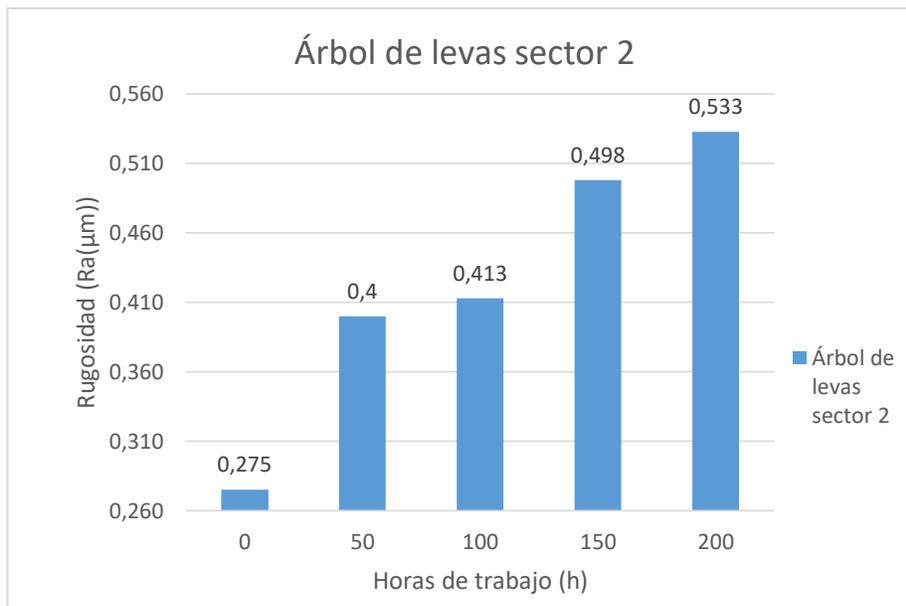


Figura 85. Valores de rugosidad en el árbol de levas sector 2

En la figura 89, se observa el cambio de rugosidad que se generó en la superficie del árbol de levas en el sector 2, se verifica que la rugosidad aumento conforme aumentaron las horas de funcionamiento, se produjo una variación de 0.258 μm entre el valor mínimo y máximo, aumentando su rugosidad en 93.82 % con un máximo de 0.533 μm siendo el sector que más aumento su rugosidad dentro del árbol de levas en la bomba de alta presión. Con el punto más crítico entre 0 y 50 horas.

Tabla 73

Valores de rugosidad en el árbol de levas sector 3

Árbol de levas sector 3					
Horas	0	50	100	150	200
Ra(μm)	0.150	0.179	0.175	0.210	0.231

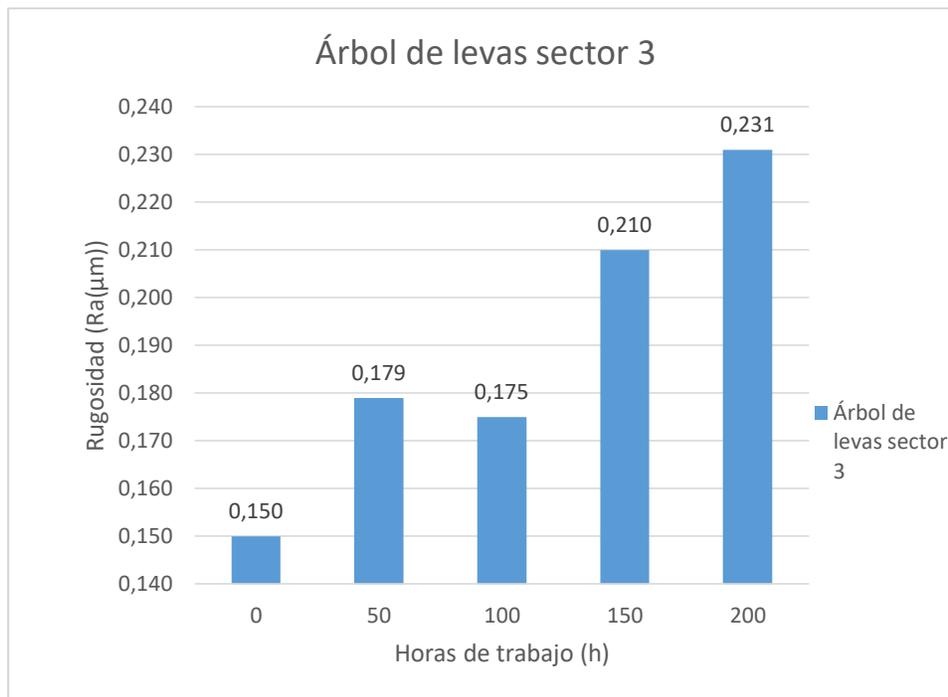


Figura 86. Valores de rugosidad en el árbol de levas sector 3

En la figura 90, se presenta el cambio de rugosidad que sufrió la superficie del árbol de levas en el sector 3, en donde se puede analizar que la rugosidad aumento conforme aumentaron las horas de funcionamiento, se obtuvo una variación de $0.081 \mu\text{m}$ entre el valor mínimo y máximo, aumentando su rugosidad en 54 % con un máximo de $0.231 \mu\text{m}$. Con el punto más crítico entre 100 y 150 horas.

Tabla 74

Valores de rugosidad en la leva anular cara frontal

Leva anular cara frontal					
Horas	0	50	100	150	200
Ra(μm)	0.721	0.724	0.816	0.835	0.882

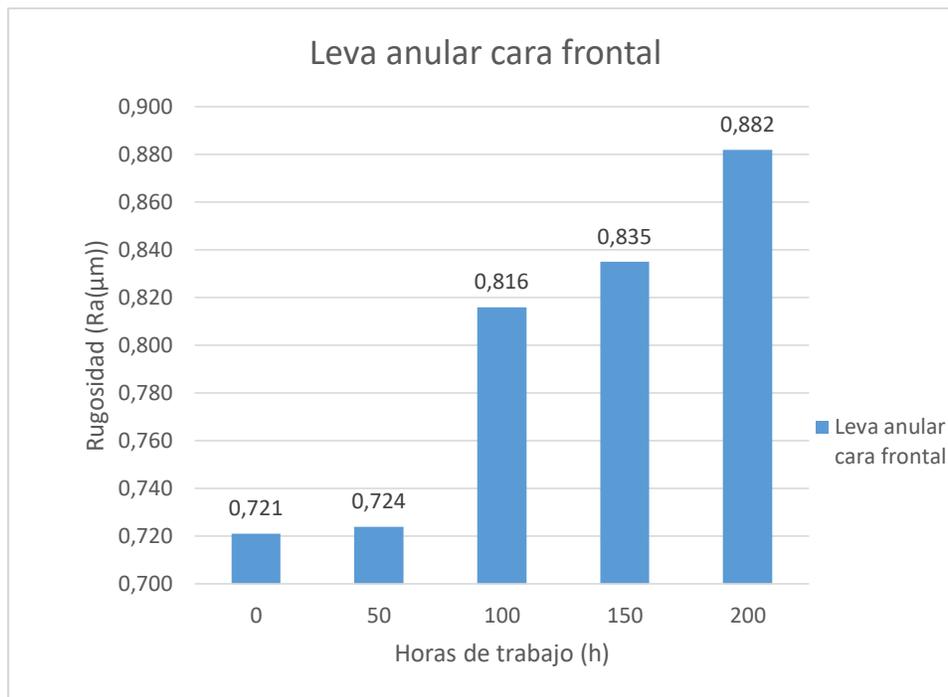


Figura 87.Valores de rugosidad en la leva anular cara frontal

En la figura 91, se observa el cambio de rugosidad que se generó en la superficie de contacto de la leva anular cara frontal, se puede visualizar que la rugosidad aumento conforme se sumaron las horas de funcionamiento, se obtuvo una variación de $0.161 \mu\text{m}$ entre el valor mínimo y máximo, aumentando su rugosidad en 22.33 % con un máximo de $0.882 \mu\text{m}$ siendo el componente que mayor rugosidad presento dentro de la bomba de alta presión. Con el punto más crítico entre 50 y 100 horas.

Tabla 75

Valores de rugosidad en la leva anular cara posterior

Leva anular cara posterior					
Horas	0	50	100	150	200
Ra(μm)	0.560	0.572	0.701	0.749	0.786

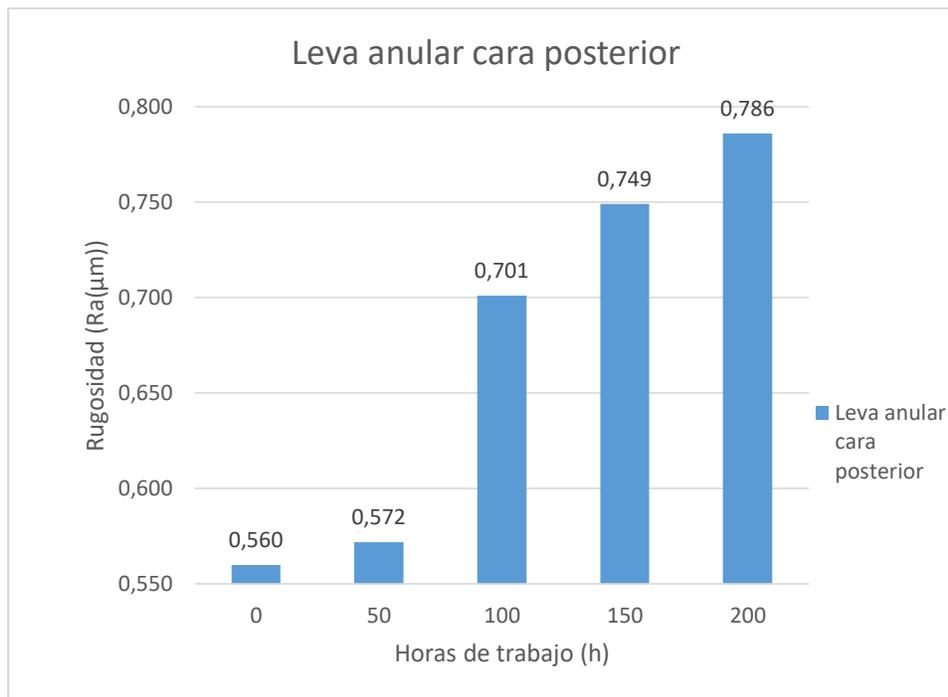


Figura 88. Valores de rugosidad en la leva anular cara posterior

En la figura 92, se representa el cambio de rugosidad que sufrió la superficie de contacto de la leva anular cara posterior, en donde se puede observar que la rugosidad aumento conforme aumentaron las horas de funcionamiento, se obtuvo una variación de 0.226 μm entre el valor mínimo y máximo, aumentando su rugosidad en 40.35 % con un máximo de 0.786 μm siendo el componente que mayor rugosidad aumento dentro de la bomba de alta presión. Con el punto más crítico entre 50 y 100 horas.

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

El inyector DENSO 6521 al ser accionado por el módulo de disparo, su bobina fue activada con 60 voltios y trabajo a una velocidad de inyección de 2500 RPM, tras los

protocolos de pruebas al funcionar con la mezcla combustible se verifico el estado de sus elementos con equipos tecnológicos.

4.2.1 Peso

El pesaje de los componentes del inyector Denso 6521 se realizó en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE extensión Latacunga, en los laboratorios de petroquímica al trabajar con la mezcla combustible diésel – surfactantes de agua al 20%, el análisis se efectuó con la balanza analítica de cuatro décimas de precisión ya que los elementos pesan menos de 200 gramos.

a. Portatobera

Es el componente que mantiene fijo el pulverizador al cuerpo del inyector, además que sostiene a los elementos internos del inyector.



Figura 89. Portatobera

Tabla 76

Desgaste de la portatobera

Elemento	0	50	100	150	200	Horas
	0	3400	7000	10200	13600	Km
Portatobera	23.5804	23.5285	23.4986	23.4913	23.4854	Gramos

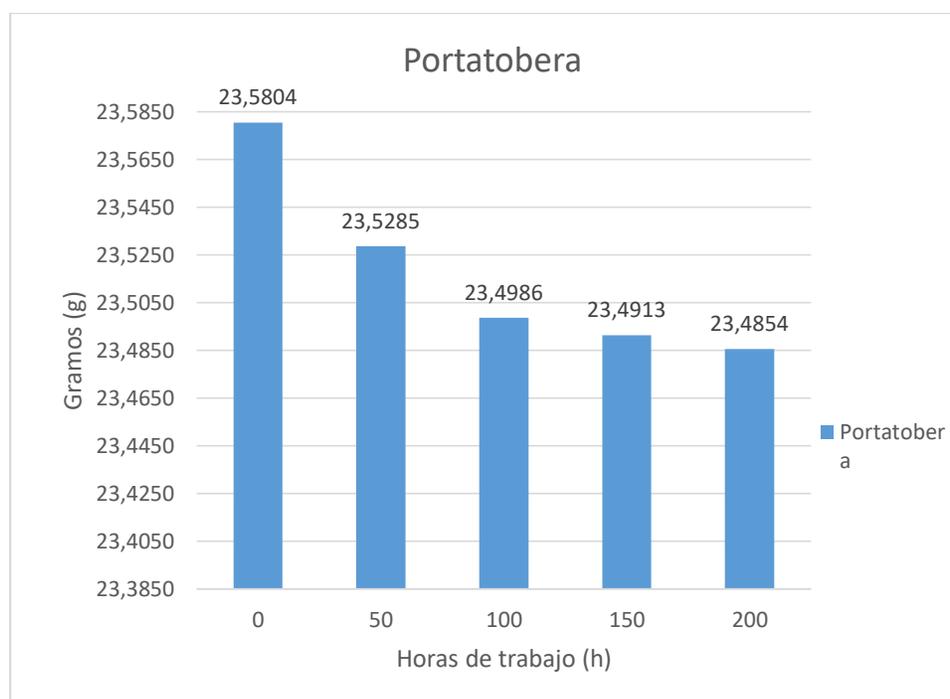


Figura 90. Desgaste de la portatobera

En la figura 94, se puede apreciar el desgaste de la portatobera del inyector, en donde se obtuvo una reducción de 0.095 g entre el valor máximo y mínimo que representa

el 0.403 % del peso inicial. El punto donde se produjo la mayor reducción de peso fue al trabajar entre 0 y 50 horas.

b. Tobera

Contiene los seis agujeros de pulverización de la mezcla combustible, así como también es el alojamiento de la aguja del inyector.



Figura 91. Tobera

Tabla 77

Desgaste de la tobera

Elemento	0	50	100	150	200	Horas
	0	3400	7000	10200	13600	Km
Tobera	22.8263	22.7981	22.7818	22.7752	22.7749	Gramos

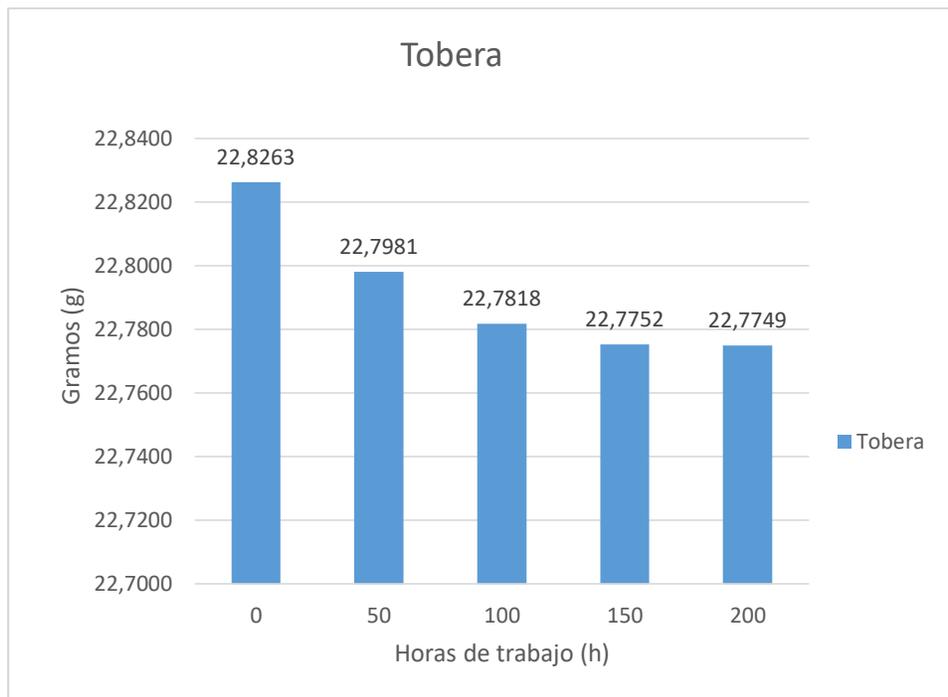


Figura 92. Desgaste de la tobera

En la figura 96, se observa el desgaste de la tobera del inyector, en donde se generó una reducción de 0.0514 g de masa entre el valor máximo y mínimo que representa el 0.225 % del peso inicial. El punto donde se presentó la mayor reducción fue al trabajar entre 0 y 150 horas.

c. Rotor

Es el componente que sirve de soporte tanto para la varilla de empuje como para la aguja, consta de dos guías para su correcta fijación con la tobera.



Figura 93. Rotor

Tabla 78

Desgaste del rotor

Elemento	0	50	100	150	200	Horas
	0	3400	7000	10200	13600	Km
Rotor	10.3144	10.3122	10.3100	10.3099	10.3096	Gramos

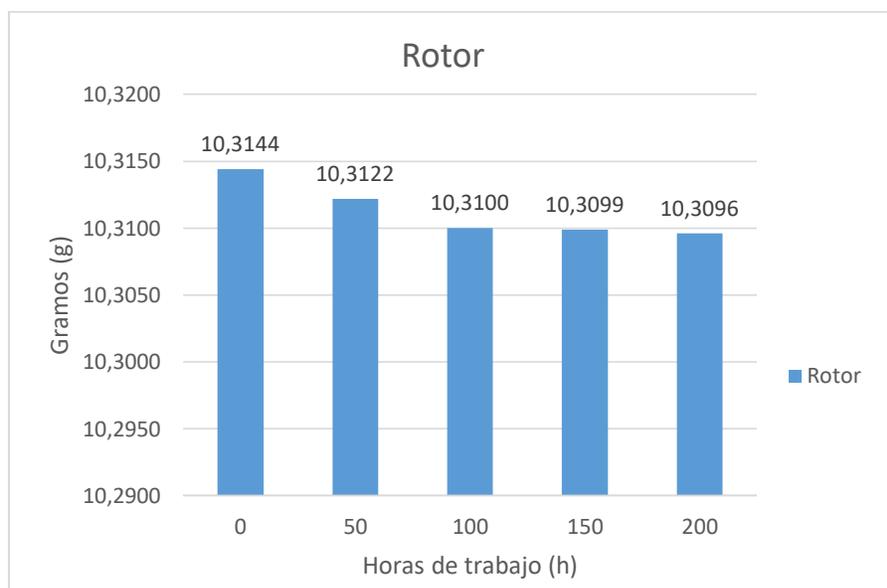


Figura 94. Desgaste del rotor

En la figura 98, se presenta el desgaste del rotor del inyector, en donde el peso se redujo en 0.0048 g, valor que representa el 0.0465 % del peso inicial. Siendo el componente que menos desgaste se obtuvo en el inyector. El punto de mayor pérdida de peso fue al trabajar entre 50 y 100 horas.

d. Varilla de empuje

Es el componente que acciona a la aguja del inyector, posee un resorte que le permite volver a su posición original luego de ser accionado por el embolo de mando.



Figura 95. Varilla de empuje

Tabla 79

Desgaste de la varilla de empuje

Elemento	0	50	100	150	200	Horas
	0	3400	7000	10200	13600	Km
Varilla de empuje	1.6628	1.6615	1.6612	1.6611	1.6608	Gramos

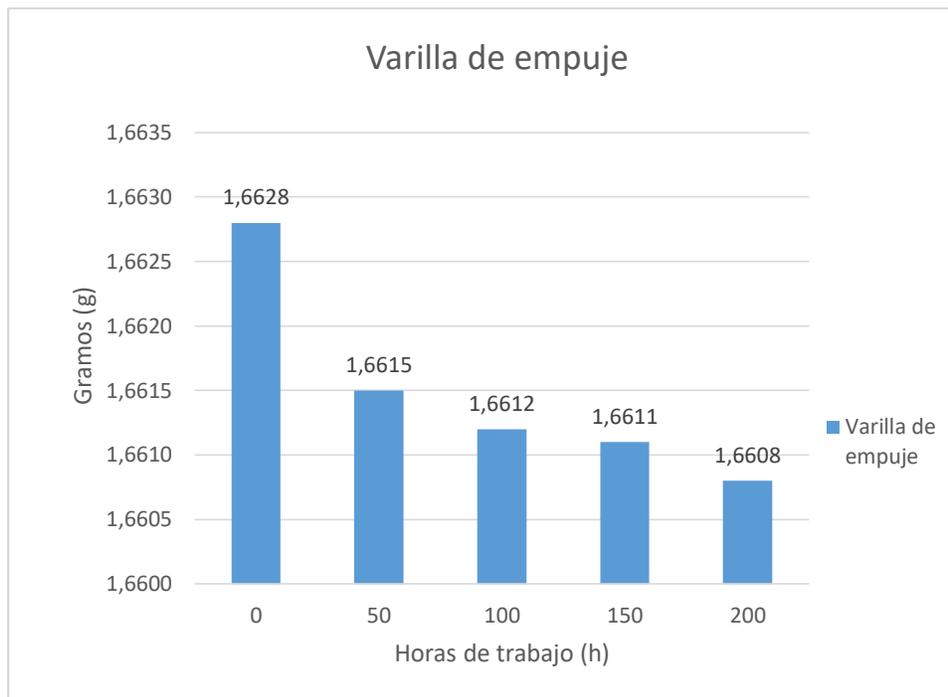


Figura 96. Desgaste de la varilla de empuje

En la figura 100, se puede visualizar el desgaste de la varilla de empuje del inyector, en donde se produjo una reducción de 0.002 g entre el valor máximo y mínimo que representa el 0.120 % del peso inicial. El punto donde se presentó la mayor reducción de peso fue al trabajar entre 0 y 50 horas.

e. Aguja

Es el elemento de principal desgaste en el inyector, está alojada en la tobera y permite el paso del combustible hacia los pulverizadores



Figura 97. Aguja

Tabla 80

Desgaste de la aguja

Elemento	0	50	100	150	200	Horas
	0	3400	7000	10200	13600	Km
Aguja	3.3032	3.2981	3.2979	3.2976	3.2973	Gramos

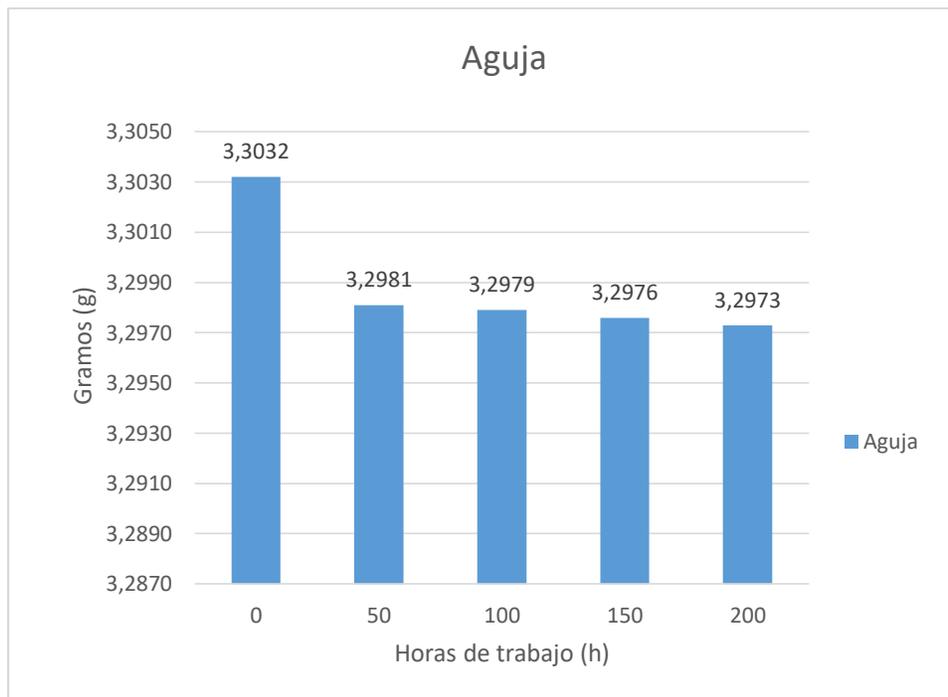


Figura 98. Desgaste de la aguja

En la figura 102, se puede corroborar el desgaste de la aguja del inyector, en donde se obtuvo una reducción de 0.0059 g entre el valor máximo y mínimo que es el 0.178 % del peso inicial, gracias a su recubrimiento de carbono. El punto donde se produjo la mayor reducción de peso fue al trabajar entre 150 y 200 horas.

f. Resorte

Es un componente ubicado entre la arandela de presión superior y la varilla de empuje, permite que los elementos internos del inyector regresen a su posición luego de ser accionados.



Figura 99. Resorte

Tabla 81

Desgaste del resorte

Elemento	0	50	100	150	200	Horas
	0	3400	7000	10200	13600	Km
Resorte	1.6159	1.6116	1.6072	1.6057	1.6047	Gramos

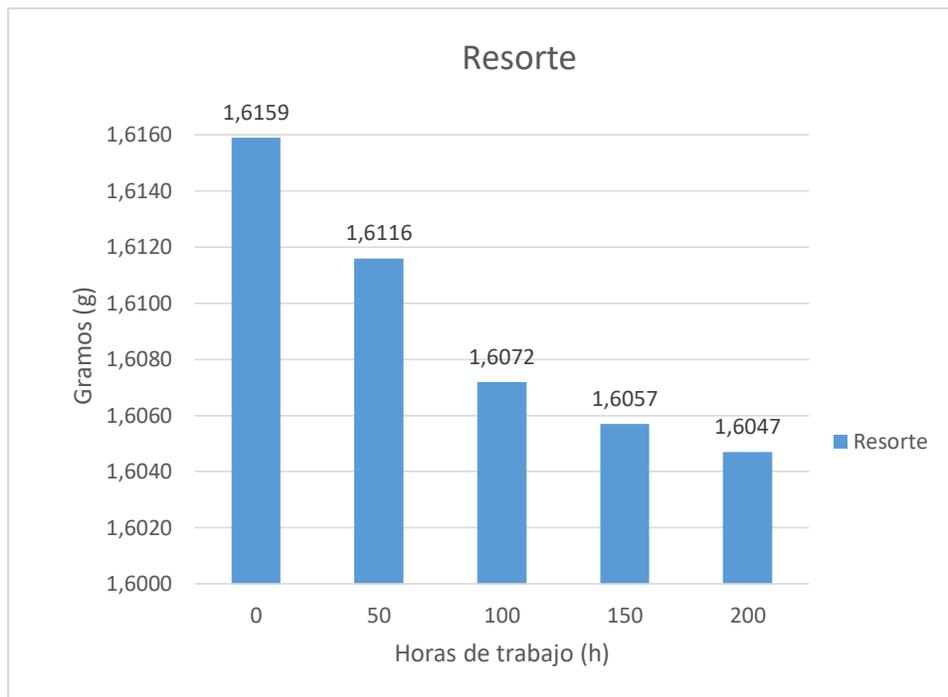


Figura 100. Desgaste del resorte

En la figura 104, se puede apreciar el desgaste del resorte del inyector, en donde se obtuvo una reducción de 0.0112 g entre el valor máximo y mínimo que representa el 0.693 % del peso inicial. El punto donde se presentó la mayor reducción de peso fue al trabajar entre 0 y 50 horas.

g. Guía I

Este componente permite la fijación de los elementos internos del inyector, así como también evita que el rotor y la tobera giren.



Figura 101. Guía I

Tabla 82

Desgaste de la guía I

Elemento	0	50	100	150	200	Horas
	0	3400	7000	10200	13600	Km
Guía I	0,2757	0,2753	0,2753	0,2751	0,2750	Gramos

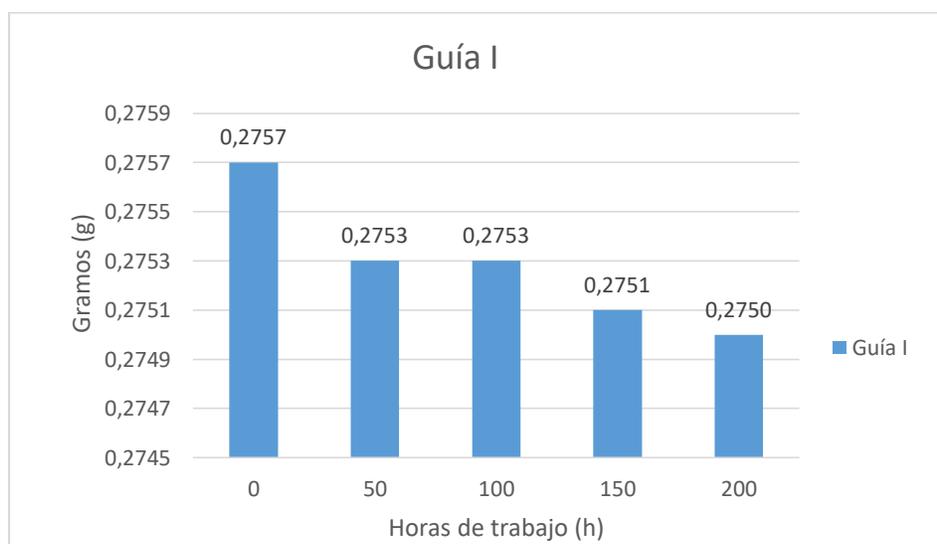


Figura 102. Desgaste de la guía I

En la figura 106, se verifica el desgaste de la guía I del inyector, en donde se generó una reducción de 0.0007 g entre el valor máximo y mínimo que representa el

0.253 % del peso inicial. El punto de mayor reducción de peso fue al trabajar entre 0 y 50 horas.

h. Guía II

Es el elemento que se encarga de fijar los elementos internos del inyector, así como también evita que el rotor y la tobera giren juntamente con la guía I.



Figura 103. Guía II

Tabla 83

Desgaste de la guía II

Elemento	0	50	100	150	200	Horas
	0	3400	7000	10200	13600	Km
Guía II	0.2760	0.2755	0.2755	0.2755	0.2753	Gramos

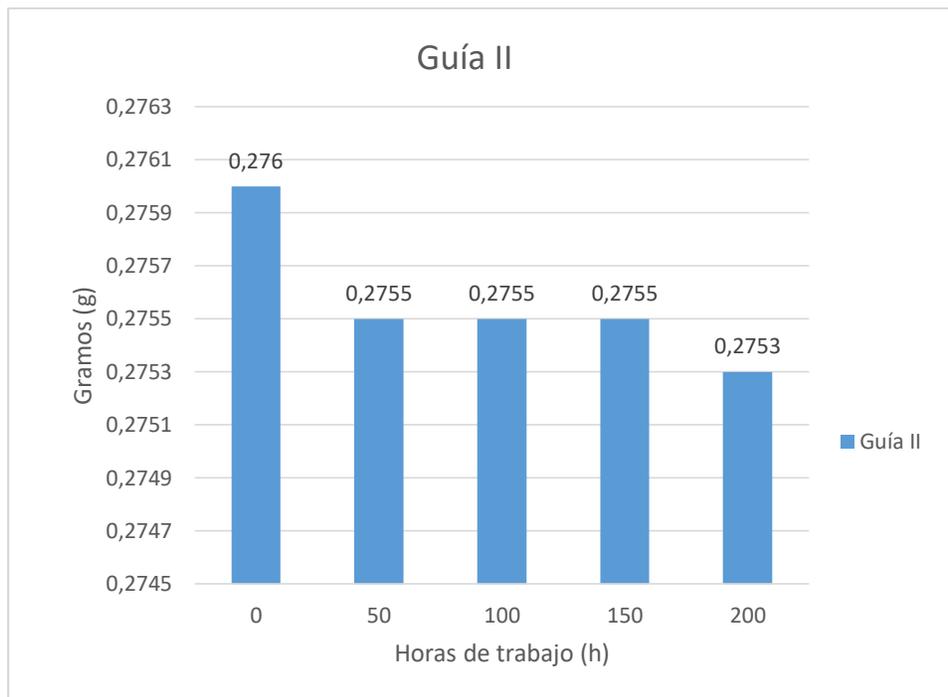


Figura 104. Desgaste de la guía II

En la figura 108, se presenta el desgaste de la guía II del inyector, en donde se produjo una reducción de 0.0007 g entre el valor máximo y mínimo que es el 0.253 % del peso inicial. El punto donde se obtuvo la mayor reducción de peso fue entre 0 y 50 horas.

i. Arandela de presión inferior

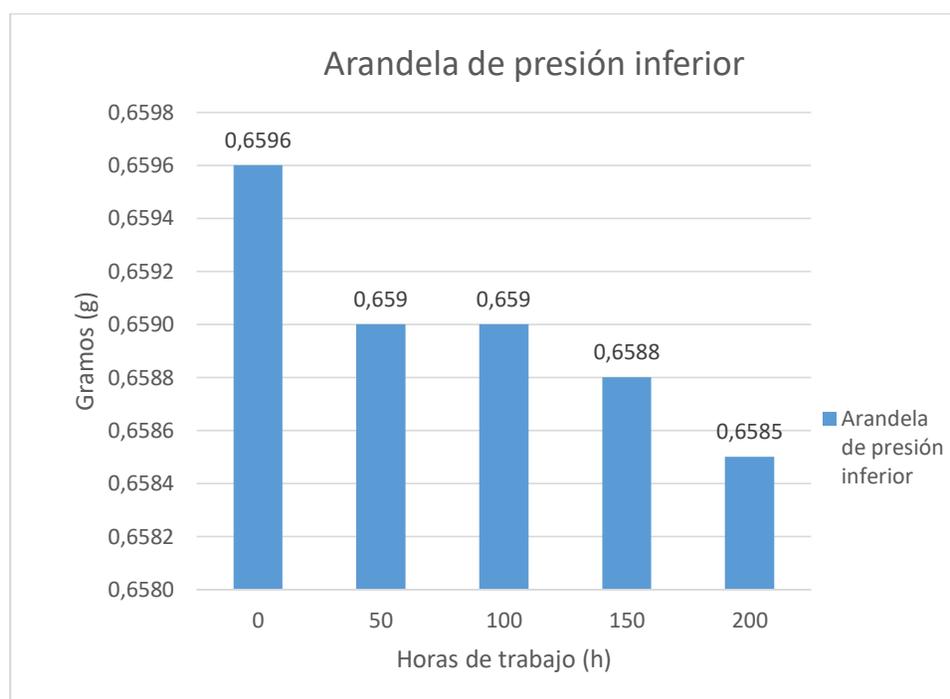
Este elemento junto con la arandela de presión superior recibe toda la presión que se genera internamente en el inyector, aproximadamente 1000 bares.



Figura 105. Arandela de presión inferior

Tabla 84*Desgaste de la arandela de presión inferior*

Elemento	0	50	100	150	200	Horas
	0	3400	7000	10200	13600	Km
Arandela de presión inferior	0,6596	0,6590	0,6590	0,6588	0,6585	Gramos

**Figura 106.** Desgaste de la arandela de presión inferior

En la figura 110, se observar el desgaste de la arandela de presión inferior del inyector, en donde se produjo una reducción de 0.0011 g entre el valor máximo y mínimo que representa el 0.166 % del peso inicial. El punto donde se generó la mayor reducción de peso fue al trabajar entre 0 y 50 horas.

j. Arandela de presión superior

Este elemento junto con la arandela de presión superior recibe toda la presión que se genera internamente en el inyector, aproximadamente 1000 bares.



Figura 107. Arandela de presión superior

Tabla 85

Desgaste de la arandela de presión superior

Elemento	0	50	100	150	200	Horas
	0	3400	7000	10200	13600	Km
Arandela de presión superior	0.3453	0.3446	0.3444	0.3443	0.3432	Gramos

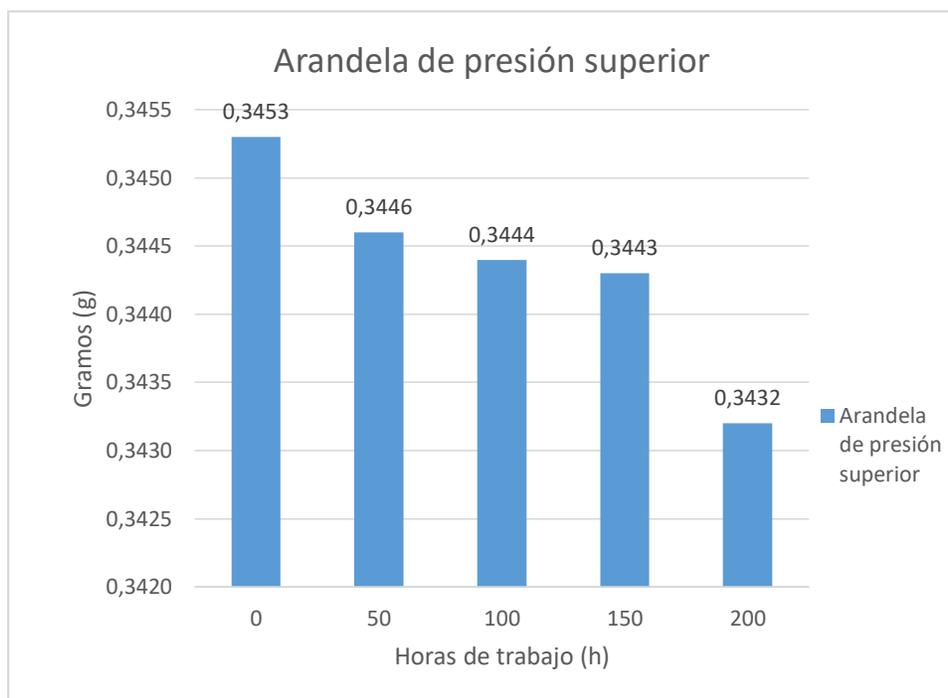


Figura 108. Desgaste de la arandela de presión superior

En la figura 112, se visualiza el desgaste de arandela de presión superior del inyector, en donde el peso se redujo en 0.0021 g entre el valor máximo y mínimo que representa el 0.608 % del peso inicial. El punto de mayor reducción de peso fue al trabajar entre 150 y 200 horas.

k. Émbolo de mando

Este componente recibe la activación del solenoide de la bobina del inyector y transmite su movimiento hacia la varilla de empuje hasta que llega a activar a la aguja.



Figura 109. Émbolo de mando

Tabla 86

Desgaste del émbolo de mando

Elemento	0	50	100	150	200	Horas
	0	3400	7000	10200	13600	Km
Émbolo de mando	6.3635	6.3582	6.3570	6.3565	6.3559	Gramos

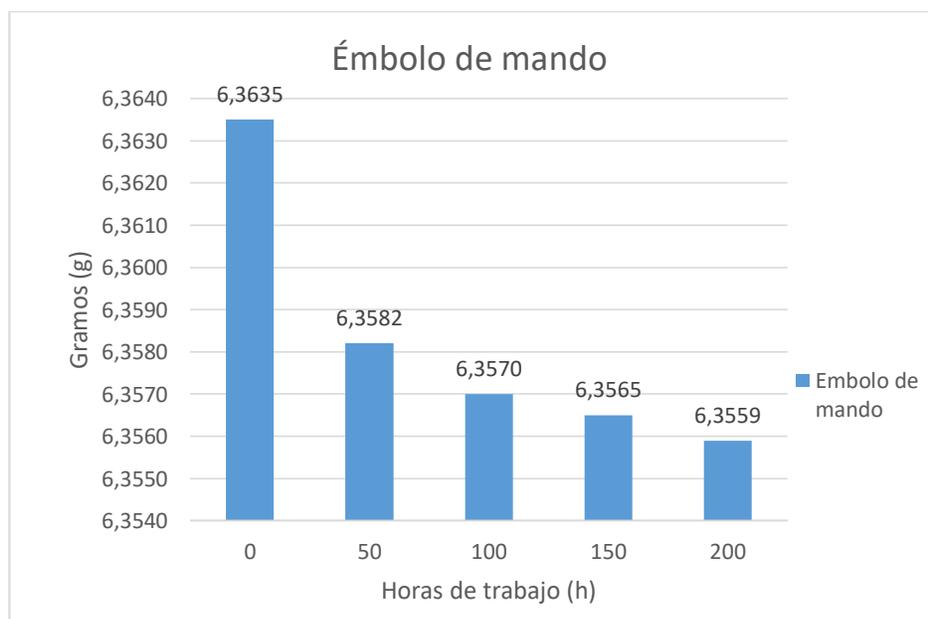


Figura 110. Desgaste del émbolo de mando

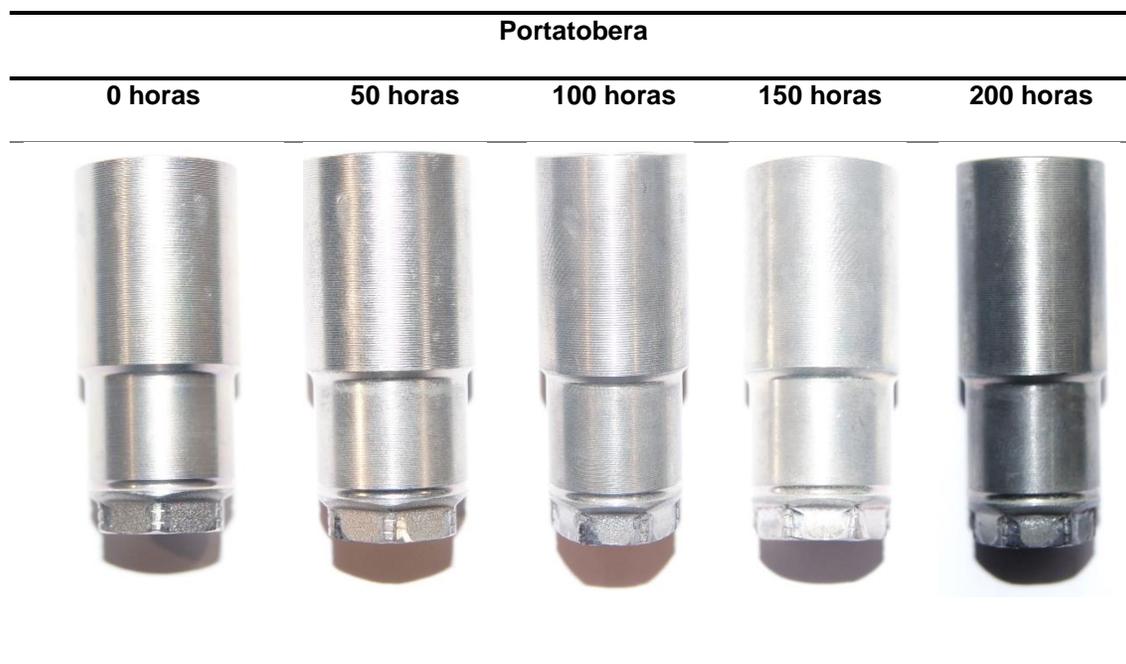
En la figura 114, se puede corroborar el desgaste del émbolo de mando del inyector, en donde se obtuvo una reducción de 0.0076 g entre el valor máximo y mínimo que es igual al 0.119 % del peso inicial. El punto donde se desarrolló la mayor reducción de peso fue al trabajar entre 0 y 50 horas.

4.2.2 Inspección visual de los componentes

La inspección visual del comportamiento de los materiales de los componentes del inyector Denso 6521 se efectuó en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE extensión Latacunga, en los laboratorios de petroquímica, los análisis se realizaron en 0, 50, 100, 150 y 200 horas con la mezcla combustible diésel – surfactantes de agua al 20%, a una distancia y luz propuestas exactamente en cada caso.

Tabla 87

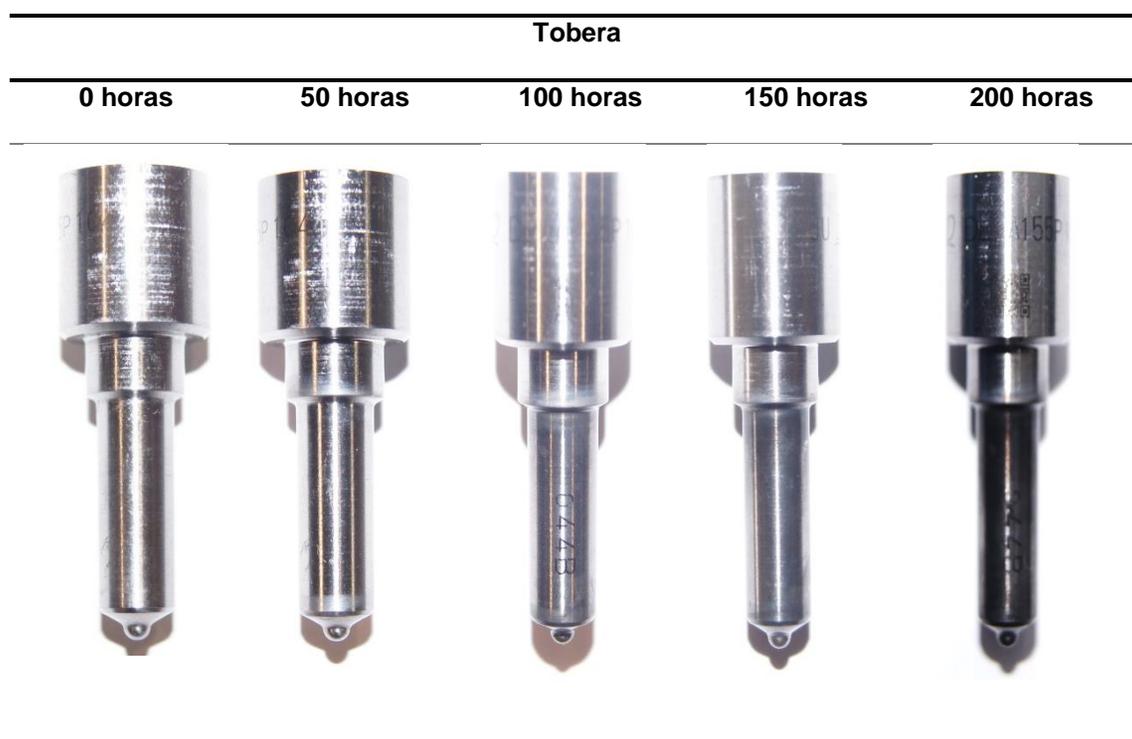
Comportamiento del material del portatobera



En la tabla 93, se puede apreciar el desgaste de la portatobera del inyector, en donde se puede observar que existe una presencia de desgaste debido al contacto que se produce con la copa para el desarmado del inyector, así como el color del componente comienza oscurecerse.

Tabla 88

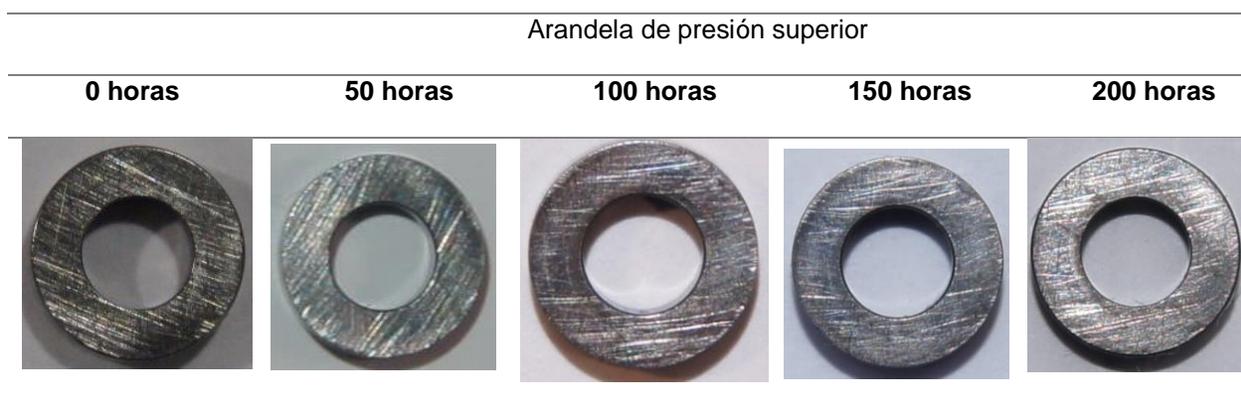
Comportamiento del material de la tobera



En la tabla 94, se observa el desgaste de la tobera del inyector, en donde se puede verificar que no existe presencia de desgaste, pero si se aprecia que el color del componente comienza oscurecerse debido a la temperatura y la evaporación de la mezcla combustible.

Tabla 89

Comportamiento del material en la arandela de presión superior



En la tabla 95, se puede visualizar el desgaste de la arandela de presión superior del inyector, en donde se verifica que no existe presencia de desgaste.

Tabla 90

Comportamiento del material en la arandela de presión inferior



En la tabla 96, se puede analizar el desgaste de la arandela de presión inferior del inyector, en donde se puede observar que no existe presencia de desgaste.

Tabla 91

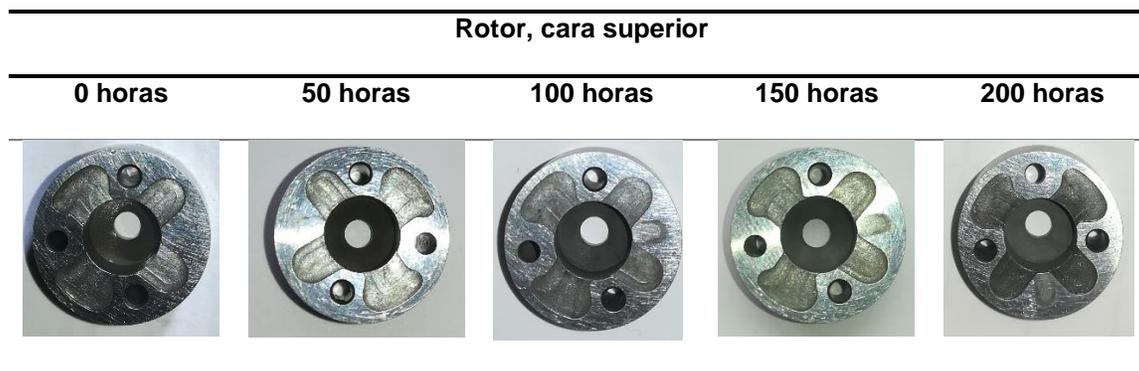
Comportamiento del material en la varilla de empuje



En la tabla 97, se observa el desgaste de la varilla de empuje del inyector, en donde se corrobora que no existe presencia de desgaste, pero si se puede evidenciar como el color del componente comienza oscurecerse debido a la contaminación con la mezcla combustible.

Tabla 92

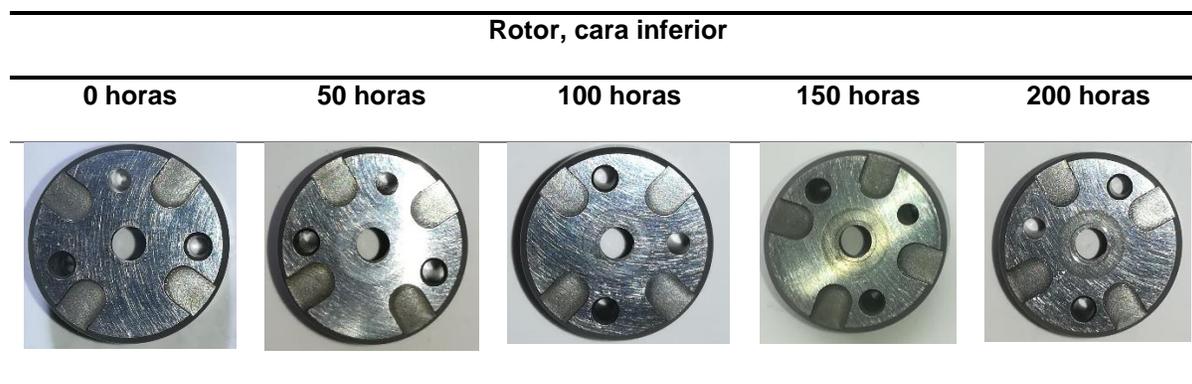
Comportamiento del material del rotor, cara superior



En la tabla 98, se puede apreciar el desgaste del rotor cara superior del inyector, en donde se puede corroborar que no existe presencia de desgaste.

Tabla 93

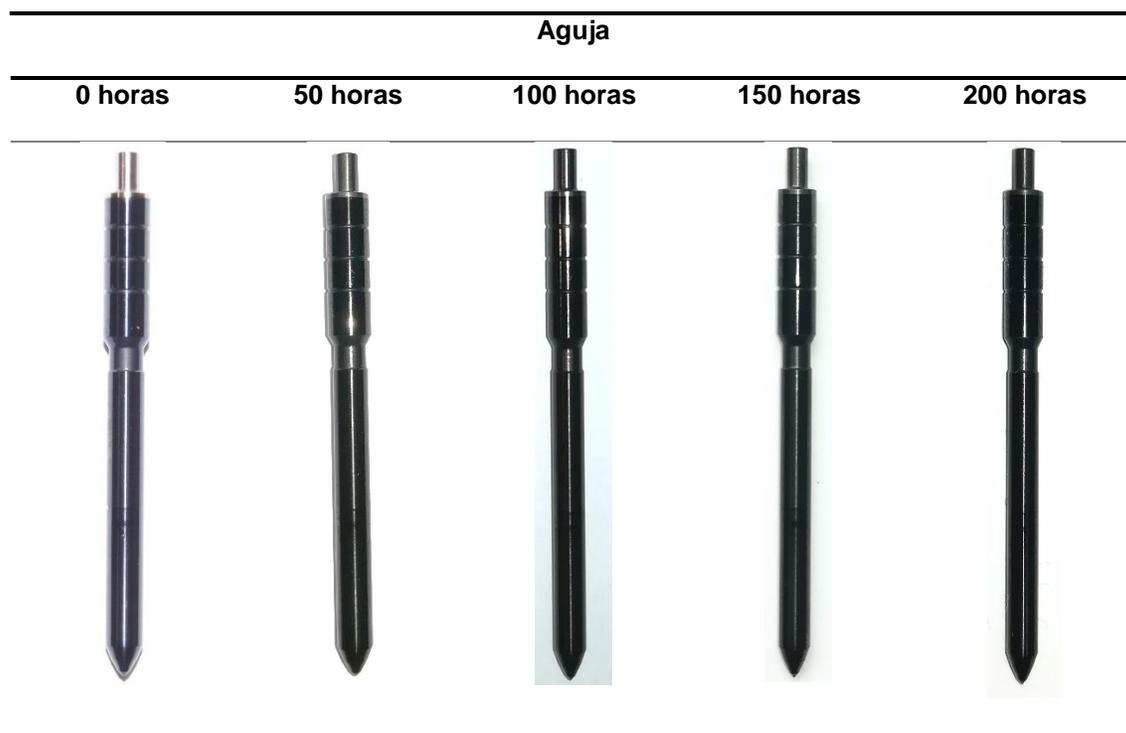
Comportamiento del material del rotor, cara inferior



En la tabla 99, se aprecia el desgaste del rotor cara inferior del inyector, en donde se puede observar que no existe presencia de desgaste, pero si la marca del asentamiento de la aguja sobre el rotor.

Tabla 94

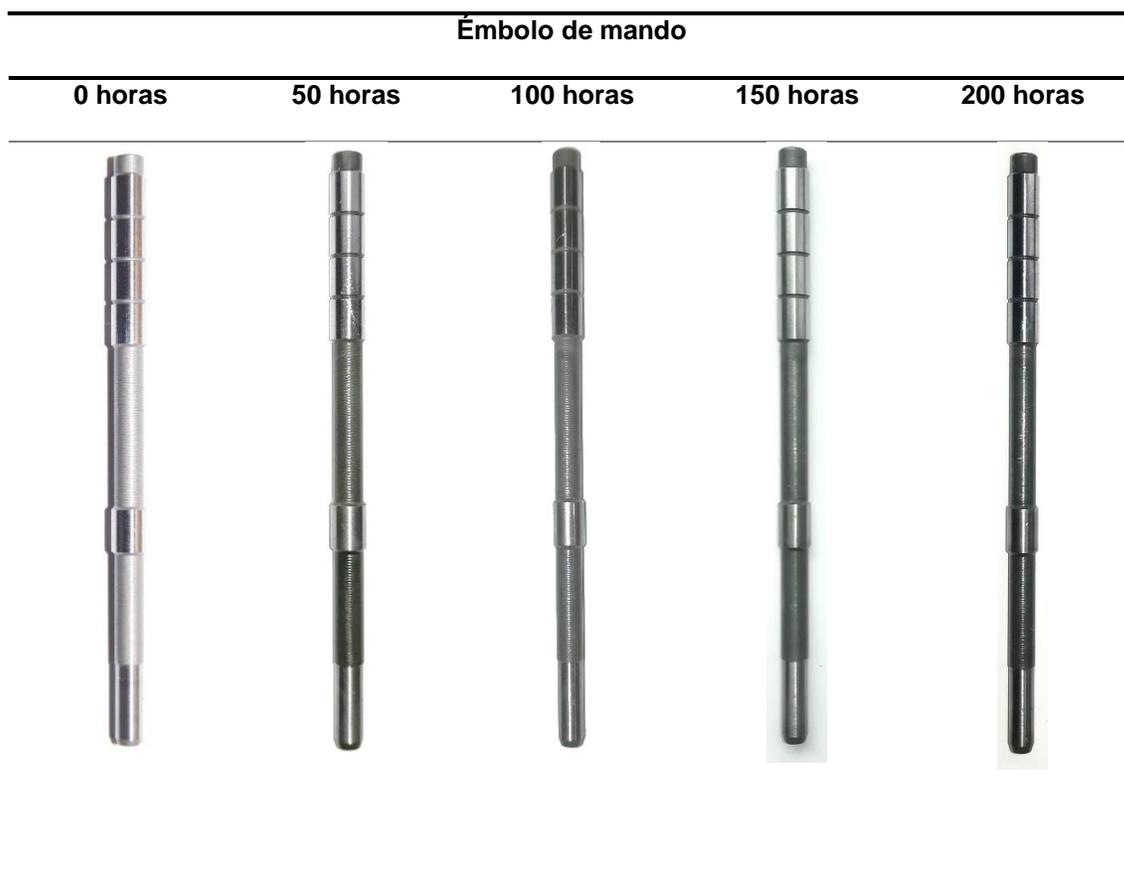
Comportamiento del material de la aguja



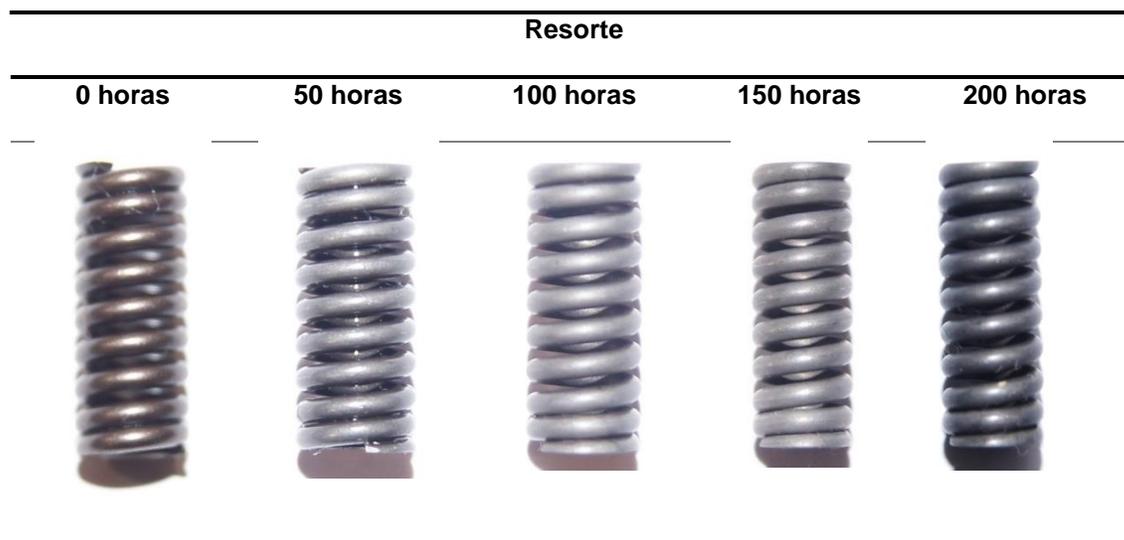
En la tabla 100, se analiza el desgaste de la aguja del inyector, en donde se observa que no existe presencia de desgaste debido a que este componente cuenta con un recubrimiento de carbono para aumentar su dureza y vida útil.

Tabla 95

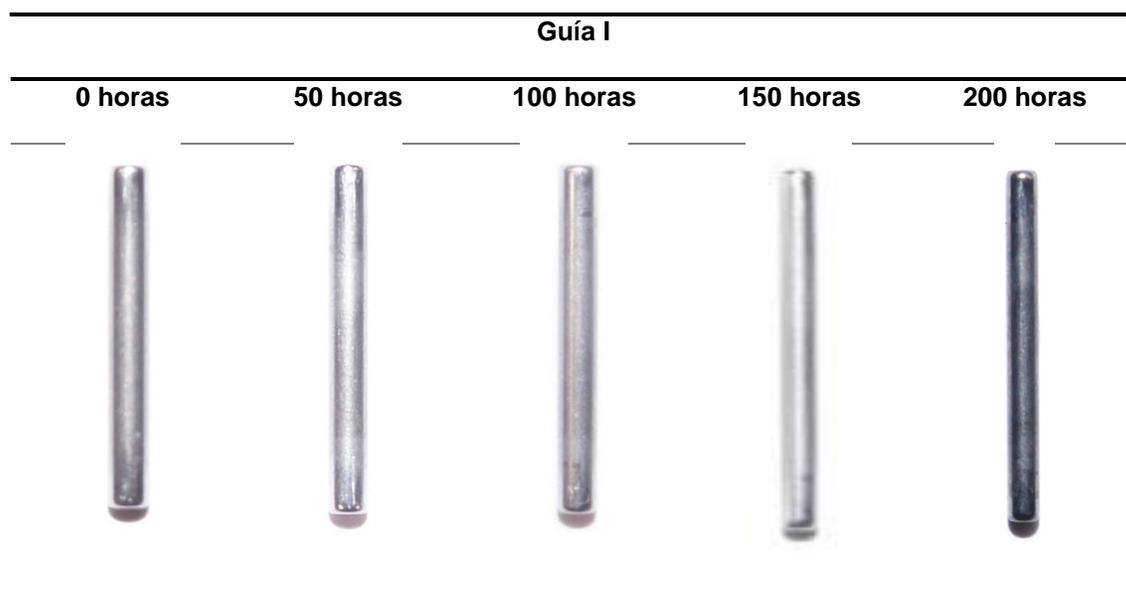
Comportamiento del material del émbolo de mando



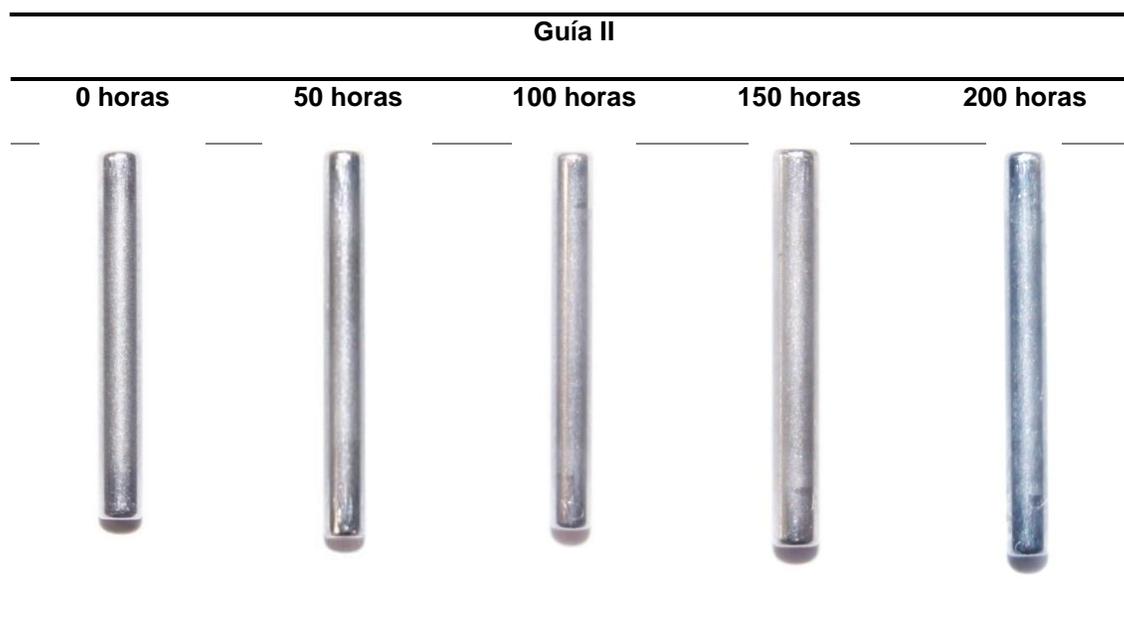
En la tabla 101, se visualiza el desgaste del émbolo de mando del inyector, el componente posee zonas que presentan desgaste abrasivo, así como también el color del cuerpo se va oscureciendo por la contaminación al estar en contacto con la mezcla combustible.

Tabla 96*Comportamiento del material del resorte*

En la tabla 102, se verifica el desgaste del resorte del inyector, en donde se puede observar que no existe presencia de desgaste, pero si se logró visualizar la contaminación que sufrió el componente al oscurecer su color.

Tabla 97*Comportamiento del material de la guía I*

En la tabla 103, se aprecia el desgaste de la guía I del inyector, en donde se puede observar que existe presencia de desgaste en sus puntas, además se logró visualizar la contaminación que sufrió el componente al oscurecer su color.

Tabla 98*Comportamiento del material de la guía II*

En la tabla 104 se verifica el desgaste de la guía II del inyector, en donde se puede corroborar que existe presencia de desgaste en las puntas de la guía, se pudo observar la contaminación que sufrió el componente al oscurecer su color.

4.2.3 Análisis de la rugosidad superficial del inyector Denso

El análisis de rugosidad empleado en los elementos del inyector es fundamental para los sectores en donde existe mayor fricción, como son el émbolo de mando y la aguja del inyector, en donde se presenta un contacto directo produciendo un desgaste abrasivo entre las superficies, el análisis se realizó a cabo en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE extensión Latacunga, en los laboratorios de motores, mediante el Rugosímetro CMSRT210 SURFACE ROUGHNESS TESTER, los análisis se realizaron

en 0, 50, 100, 150 y 200 horas con la mezcla combustible diésel – surfactantes de agua al 20%.



Figura 111. Sectores de análisis del émbolo de mando

En la figura 115, se observa los tres sectores en donde se realizaron los análisis de rugosidad en el émbolo de mando.

Tabla 99

Valores de rugosidad del émbolo de mando del inyector sector 1

Émbolo de mando del inyector sector 1					
Horas	0	50	100	150	200
Ra(μm)	0.200	0.181	0.196	0.215	0.312

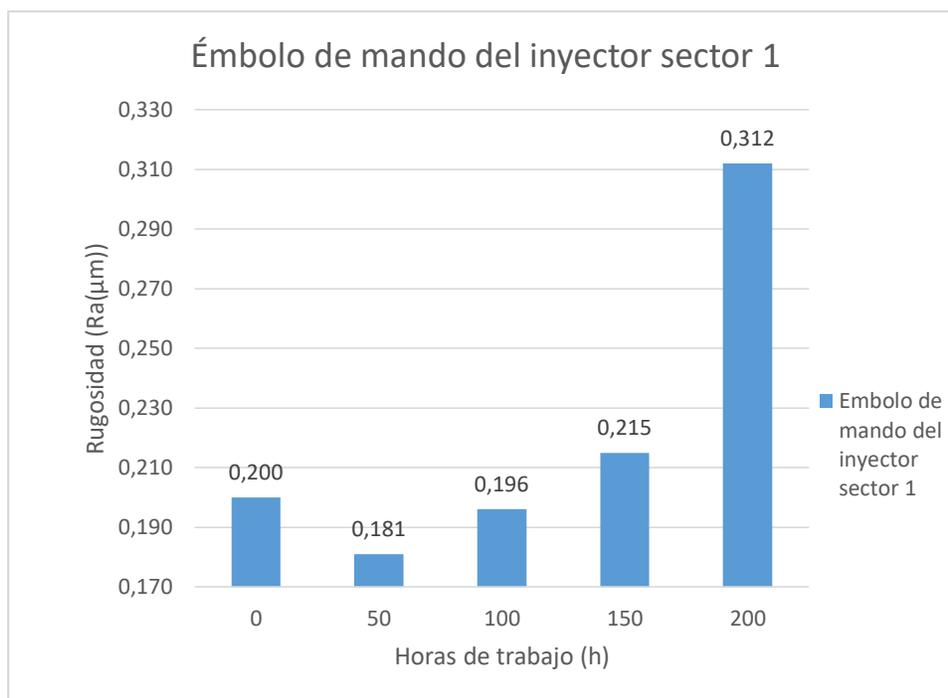


Figura 112. Valores de rugosidad del émbolo de mando del inyector sector 1

En la figura 116, se verifica el cambio de rugosidad que sufrió la superficie de contacto del émbolo de mando en el sector 1, en la cual se puede observar que la rugosidad aumento conforme aumentaron las horas de funcionamiento, se obtuvo una variación de $0.112 \mu\text{m}$ entre el valor mínimo y máximo, aumentando su rugosidad en 56 % con un máximo de $0.312 \mu\text{m}$. Con el punto más crítico entre 150 y 200 horas.

Tabla 100

Valores de rugosidad del émbolo de mando del inyector sector 2

Émbolo de mando del inyector sector 2					
Horas	0	50	100	150	200
Ra(μm)	0.189	0.188	0.262	0.315	0.378

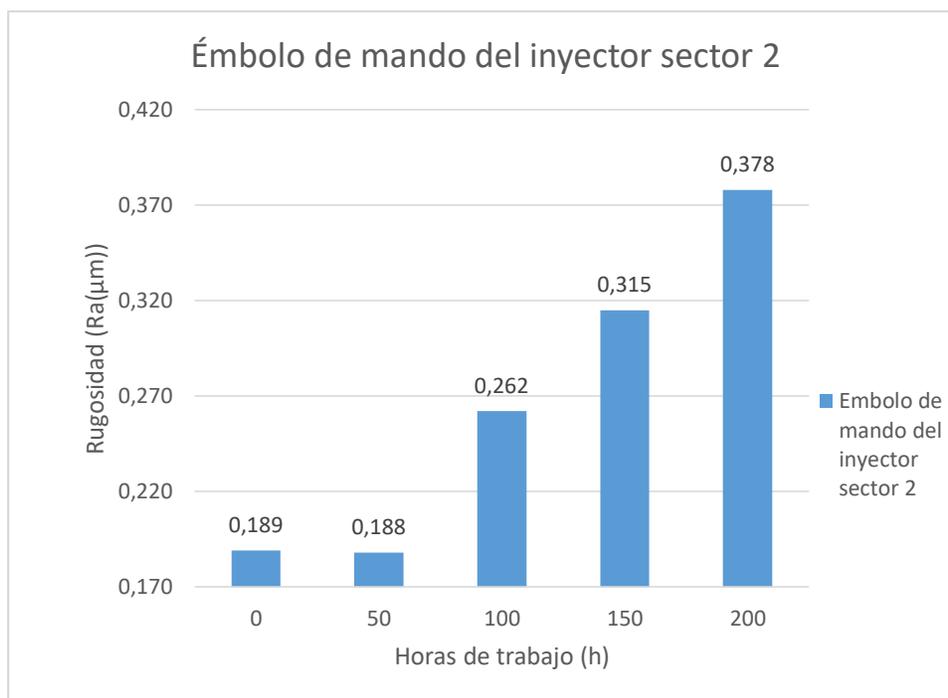


Figura 113. Valores de rugosidad del embolo de mando del inyector sector 2

En la figura 117, se analiza el cambio de rugosidad que sufrió la superficie de contacto del émbolo de mando en el sector 2, en la cual se puede observar que la rugosidad aumento conforme aumentaron las horas de funcionamiento, se obtuvo una variación de 0.189 μm entre el valor mínimo y máximo, aumentando su rugosidad en 100 % con un máximo de 0.378 μm . Siendo el sector que más aumento su rugosidad duplicándola, con el punto más crítico entre 50 y 100 horas.

Tabla 101

Valores de rugosidad del émbolo de mando del inyector sector 3

Émbolo de mando del inyector sector 3					
Horas	0	50	100	150	200
Ra(μm)	0.201	0.201	0.260	0.290	0.320

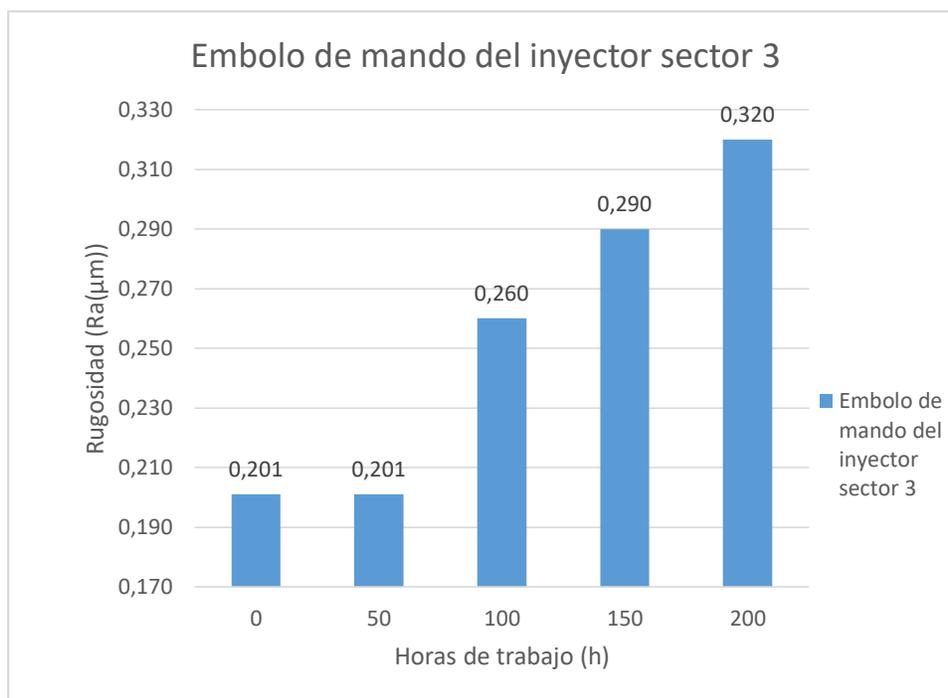


Figura 114. Valores de rugosidad del embolo de mando del inyector sector 3

En la figura 118, se visualiza el cambio de rugosidad que sufrió la superficie de contacto del émbolo de mando en el sector 3, en la cual se puede observar que la rugosidad aumento conforme aumentaron las horas de funcionamiento, se obtuvo una variación de $0.119 \mu\text{m}$ entre el valor mínimo y máximo, aumentando su rugosidad en 59.20% con un máximo de $0.320 \mu\text{m}$. Con el punto más crítico entre 50 y 100 horas.

Tabla 102

Valores de rugosidad en la aguja del inyector

Aguja					
Horas	0	50	100	150	200
Ra(μm)	0.208	0.213	0.308	0.361	0.405

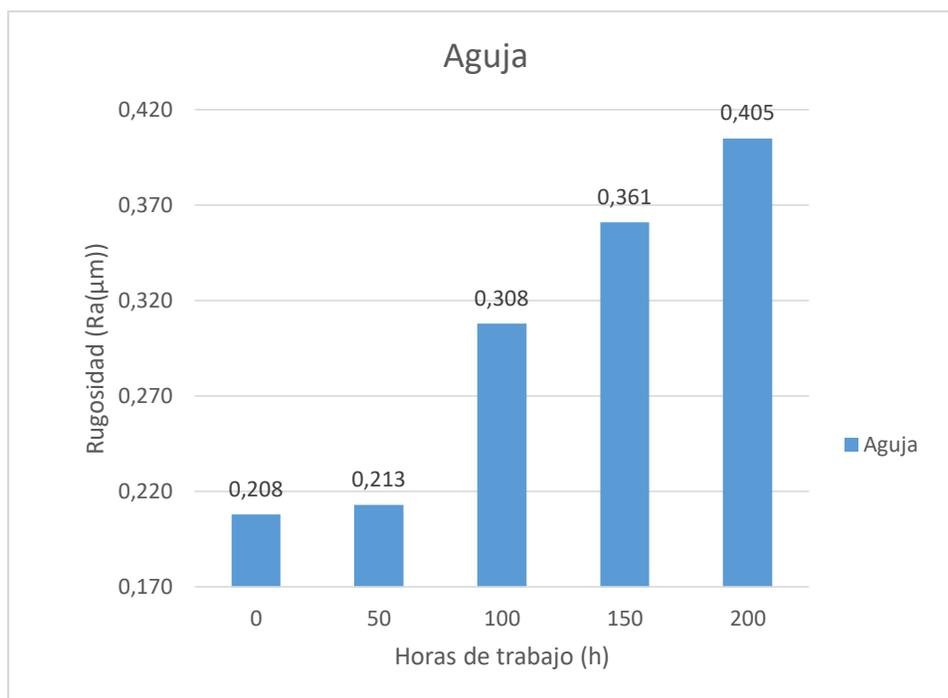


Figura 115. Valores de rugosidad en la aguja del inyector

En la figura 119, se presenta el cambio de rugosidad que sufrió la superficie de contacto de la aguja del inyector, en la cual se puede observar que la rugosidad aumento conforme aumentaron las horas de funcionamiento, se generó una variación de 0.197 μm entre el valor mínimo y máximo, aumentando su rugosidad en 94.71 % con un máximo de 0.405 μm . Con el punto más crítico entre 50 y 100 horas.

4.3 Pruebas de comporta-miento eléctrico y de funcionamiento mecánico del inyector

Las pruebas de funcionamiento mecánico del inyector consisten en el análisis de la inductancia, resistencia, aislamiento de la bobina y la entrega de caudal y retorno en pruebas de estanqueidad, ralentí, pre inyección y plena carga, las mismas que fueron realizadas en el taller de servicio Full Diésel Valencia, el cual cuenta con equipos para

realizar todo tipo de pruebas a las diferentes marcas de inyectores diésel. El banco de pruebas de inyectores diésel utilizado para las pruebas se presenta en la figura 120.



Figura 116. Banco de pruebas SPEEDMAQ S40

4.3.1 Inductancia

Tabla 103

Inductancia

Inductancia de la bobina					
Horas	0	50	100	150	200
(mH)	0.437	0.434	0.434	0.433	0.442

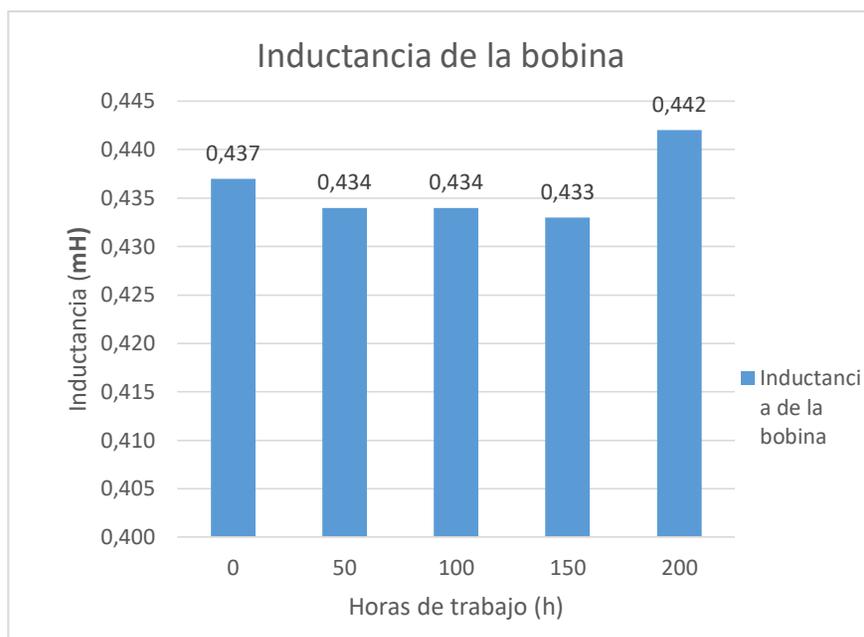


Figura 117. Inductancia

En la figura 121, se puede observar la medida de inductancia de la bobina al finalizar cada ciclo de trabajo, en donde existe una diferencia de 0.012 mH entre el valor máximo y el valor mínimo, esta diferencia es el resultado del ajuste que se realizó con el torquímetro a la bobina del inyector.

4.3.2 Resistencia

Tabla 104

Resistencia (Ω)

Resistencia de la bobina					
Horas	0	50	100	150	200
(Ω)	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7

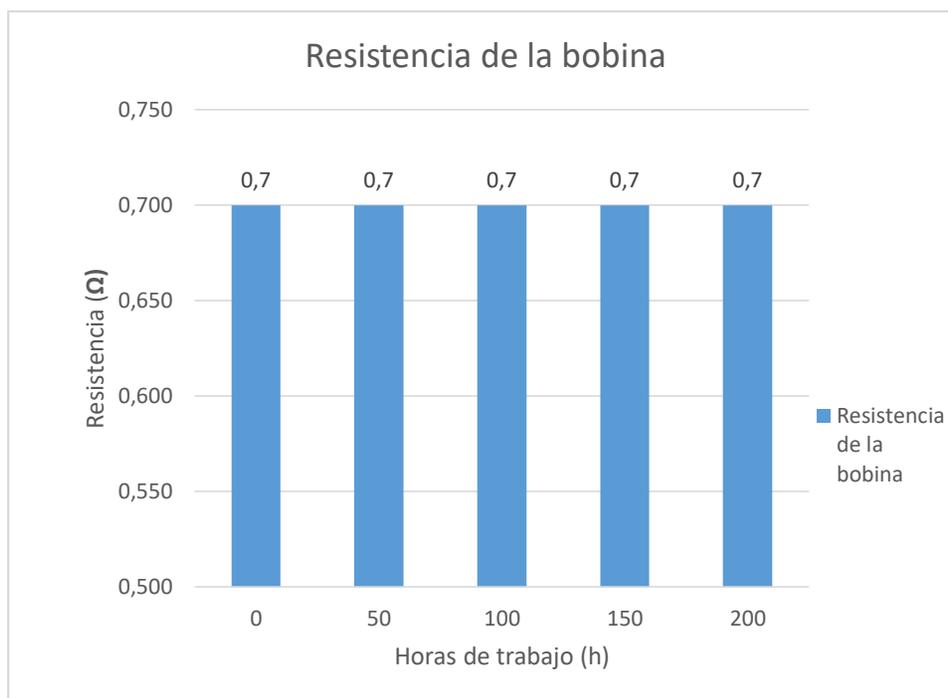


Figura 118. Resistencia

En la figura 122, se presenta la medida de resistencia de la bobina al finalizar cada ciclo de trabajo, en donde no existen diferencias de mediciones.

4.3.3 Prueba de estanqueidad

Tabla 105

Estanqueidad (ml)

	Estanqueidad				
Horas	0	50	100	150	200
Caudal (0 ml a 0 ml)	0	0	0	0	0
Retorno (0 ml a 20 ml)	0	0	0	5	9

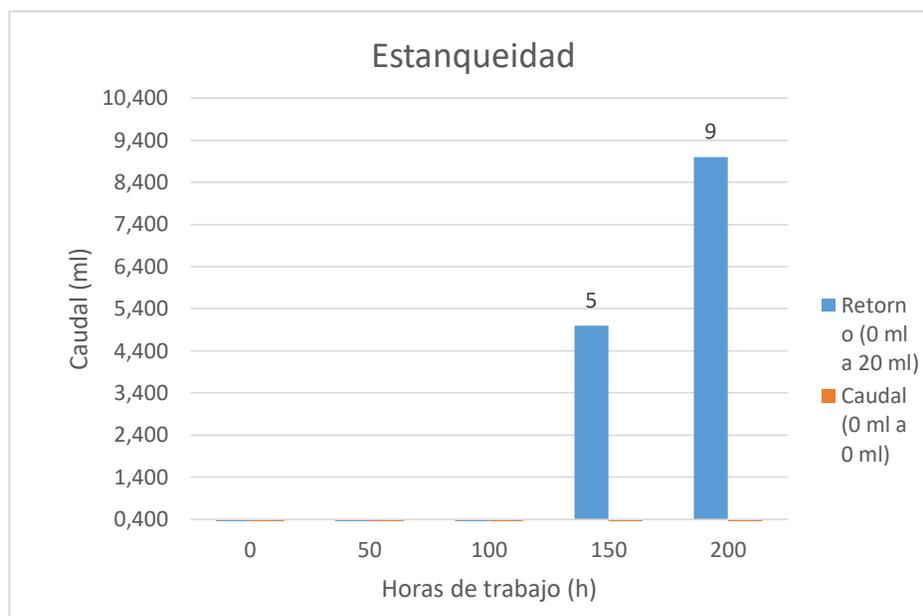


Figura 119. Estanqueidad

En la figura 123, se puede analizar los caudales de entrega y retorno del inyector en la prueba de estanqueidad en el banco de pruebas, en donde se corrobora que el caudal de inyección fue de 0 ml y el de retorno es de máximo 9 ml en las 200 horas, valores que están dentro de los rangos indicados por el fabricante, lo que indica que el inyector no tiene fugas de combustible.

4.3.4 Prueba de pre – inyección

Tabla 106

Pre – inyección (ml)

Pre – inyección					
Horas	0	50	100	150	200
Caudal (70 ml a 80 ml)	75	72	54	59	80
Retorno (25 ml a 35 ml)	17	24	28	25	47

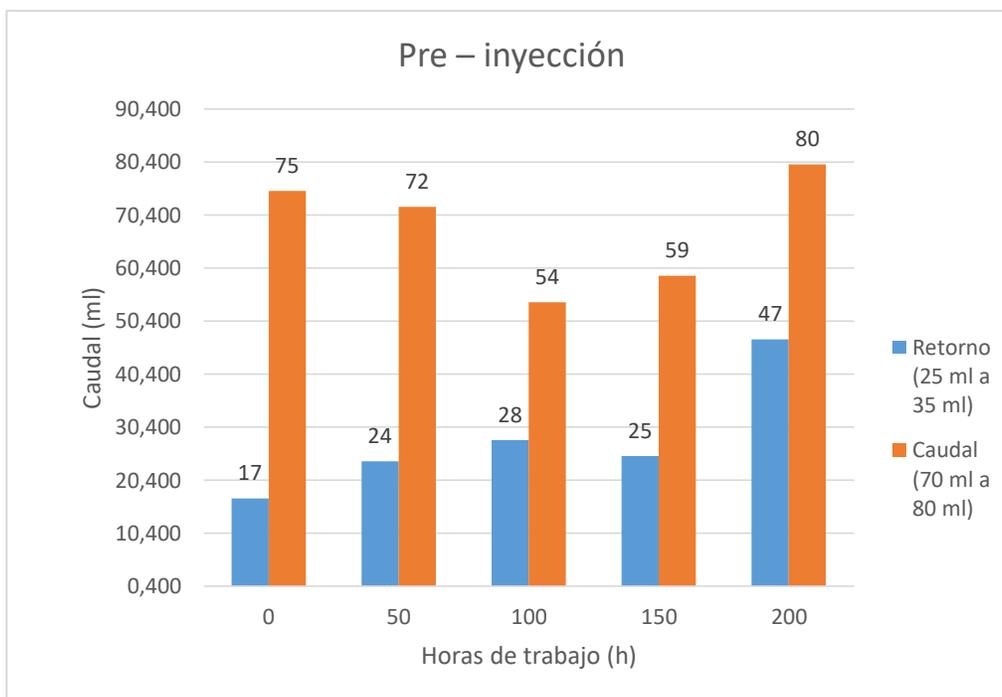


Figura 120. Pre – inyección

En la figura 124, se puede visualizar los caudales de entrega y retorno del inyector en la prueba de pre – inyección en el banco de pruebas, en donde se observa que el caudal de inyección mínimo fue de 54 ml en las 100 horas, valor que esta fuera de rango, aumentando con el pasar de las horas de funcionamiento hasta que se encontró nuevamente dentro del rango establecido por el fabricante a las 200 horas con un caudal máximo de 80 ml. El caudal de retorno mínimo fue de 17 ml a las 0 horas, valor que esta fuera del rango de tolerancia, esta medida va aumentando con las horas de funcionamiento obteniendo un máximo de 47 ml a las 200 horas valor que esta fuera del rango permisible, lo que indica que al finalizar las pruebas el inyector no cumple con los valores establecidos por el fabricante.

4.3.5 Prueba de ralenti

Tabla 107

Ralenti (ml)

Ralenti					
Horas	0	50	100	150	200
Caudal (10 ml a 20 ml)	15	14	11	10	29
Retorno (5 ml a 10 ml)	4	7	6	7	30

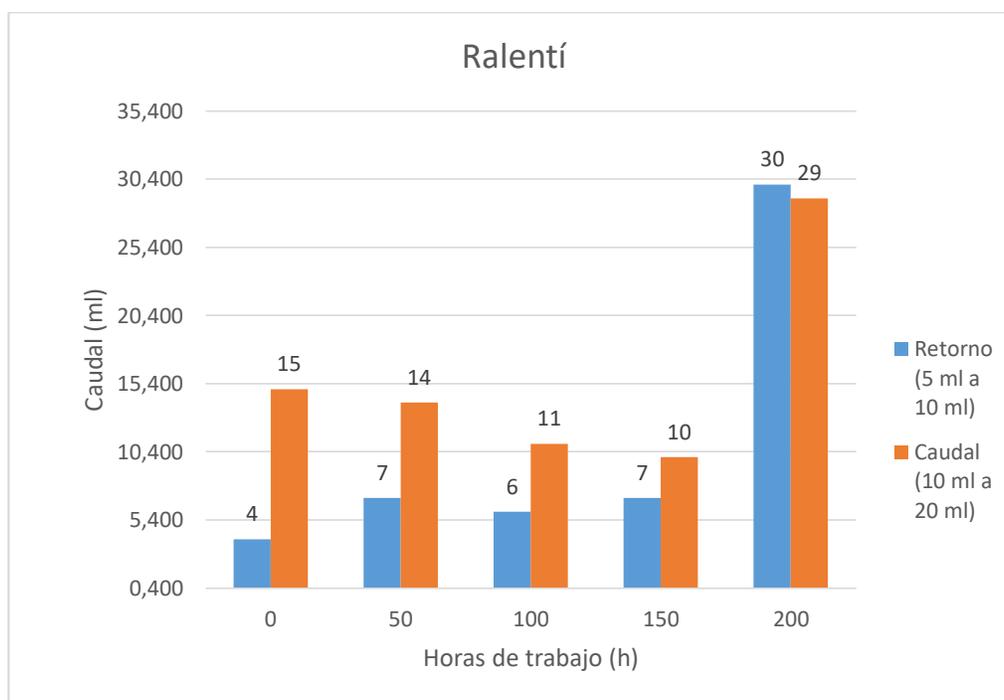


Figura 121. Ralenti

En la figura 125, se presenta los caudales de entrega y retorno del inyector en la prueba de ralenti en el banco de pruebas, en donde se verifica que el caudal de inyección

mínimo fue de 10 ml en las 150 horas, valor que está dentro del rango, el valor máximo obtenido fue de 29 ml a las 200 horas, valor que se encuentra fuera del rango permisible. El caudal de retorno mínimo fue de 4 ml a las 0 horas, valor que esta fuera del rango de tolerancia, esta medida va aumentando con las horas de funcionamiento obteniendo un máximo de 30 ml a las 200 horas valor que esta fuera del rango permisible, lo que indica que al finalizar las pruebas el inyector no cumple con los valores establecidos por el fabricante.

4.3.6 Prueba de plena carga

Tabla 108

Plena carga (ml)

Plena carga					
Horas	0	50	100	150	200
Caudal (45 ml a 60 ml)	53	53	54	55	56
Retorno (15 ml a 25 ml)	14	16	20	16	39

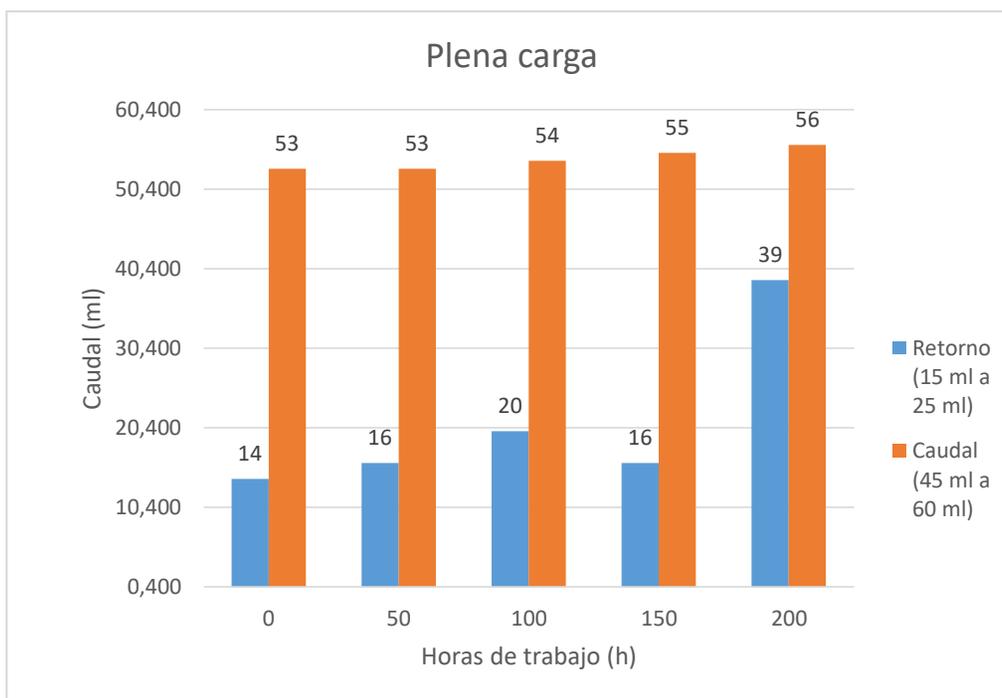


Figura 122. Plena carga

En la figura 126, se analiza los caudales de entrega y retorno del inyector en la prueba de plena carga en el banco de pruebas, en donde se aprecia que el caudal de inyección mínimo fue de 53 ml en las 0 horas, valor que está dentro del rango de tolerancia, aumentando con el pasar de las horas de funcionamiento hasta un valor máximo de 56 ml, medidas que se encuentran dentro del rango permisible. El caudal de retorno mínimo es de 14 ml a las 0 horas, valor que esta fuera del rango de tolerancia, esta medida va aumentando con las horas de funcionamiento obteniendo un máximo de 39 ml a las 200 horas valor que esta fuera del rango permisible, lo que indica que al finalizar las pruebas el inyector cumple con el caudal de entrega pero no con el caudal de retorno establecido por el fabricante.

4.3.7 Aislamiento de la bobina

Tabla 109

Aislamiento de la bobina (MΩ)

Aislamiento de la bobina					
Horas	0	50	100	150	200
(MΩ)	∞	∞	∞	∞	∞

En la tabla 115, se puede observar la medida de aislamiento de la bobina del inyector, esta medida puede ser alterada por el derretimiento de la capa de aislación que posee la bobina internamente por efecto de temperaturas elevadas, en este caso la bobina obtuvo una medida de infinito en cada periodo de funcionamiento, lo cual indica que está en buen estado el aislamiento de la misma con respecto al cuerpo del inyector.

4.4 Análisis comparativo de la microestructura del inyector mediante el microscopio XJL-17AT

El análisis microscópico permitió realizar una examinación exhaustiva de la estructura mecánica del material de los componentes del inyector luego de funcionar con la mezcla diésel – surfactantes de agua en los intervalos preestablecidos. El análisis se realizó en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE extensión Latacunga en el laboratorio de materiales con un microscopio XJL-17AT de alta precisión.

El análisis se enfocó en los sectores que se encuentran con mayor fricción en el funcionamiento del inyector, los cuales son:

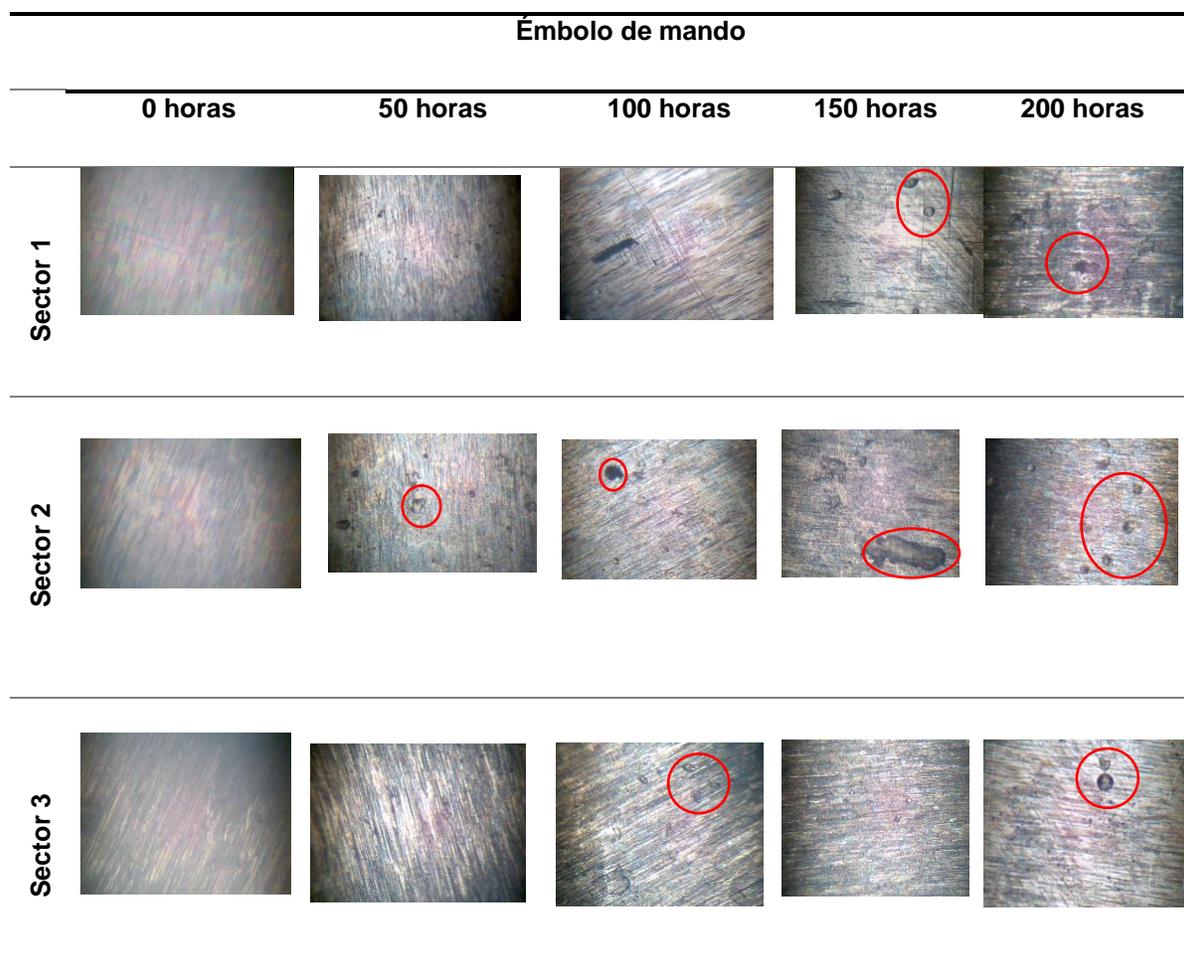
- Tres sectores del embolo de mando

- Agujero del pulverizador de la tobera
- Aguja del inyector

4.4.1 Análisis microscópico del émbolo de mando

Tabla 110

Microestructuras de los sectores del émbolo de mando



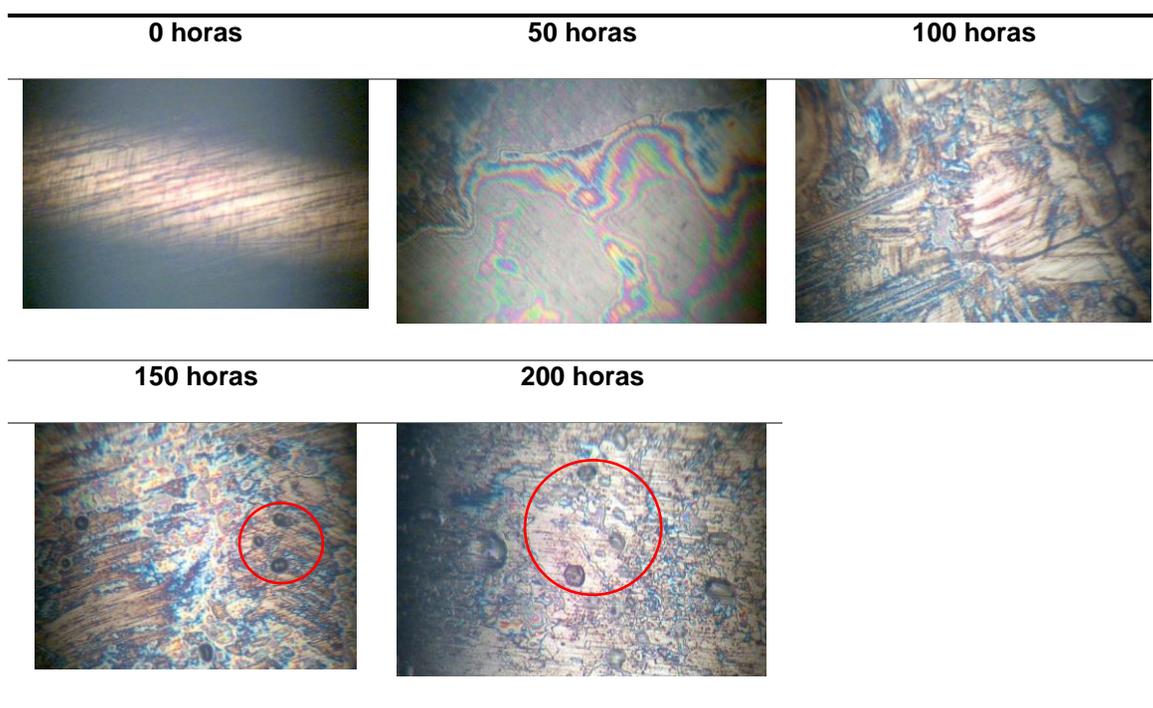
En la tabla 116, se puede observar el análisis microscópico de la estructura del émbolo de mando en sus tres sectores de contacto, en donde se puede visualizar que a partir de las 50 horas de funcionamiento la estructura comenzó a presentar desgaste

abrasivo en su superficie, aumentando sus cicatrices con el pasar de las horas de funcionamiento hasta evidenciar la presencia de cavitación por efecto del agua en la mezcla combustible.

4.4.2 Análisis microscópico de la aguja de la tobera

Tabla 111

Microestructura de la aguja de la tobera



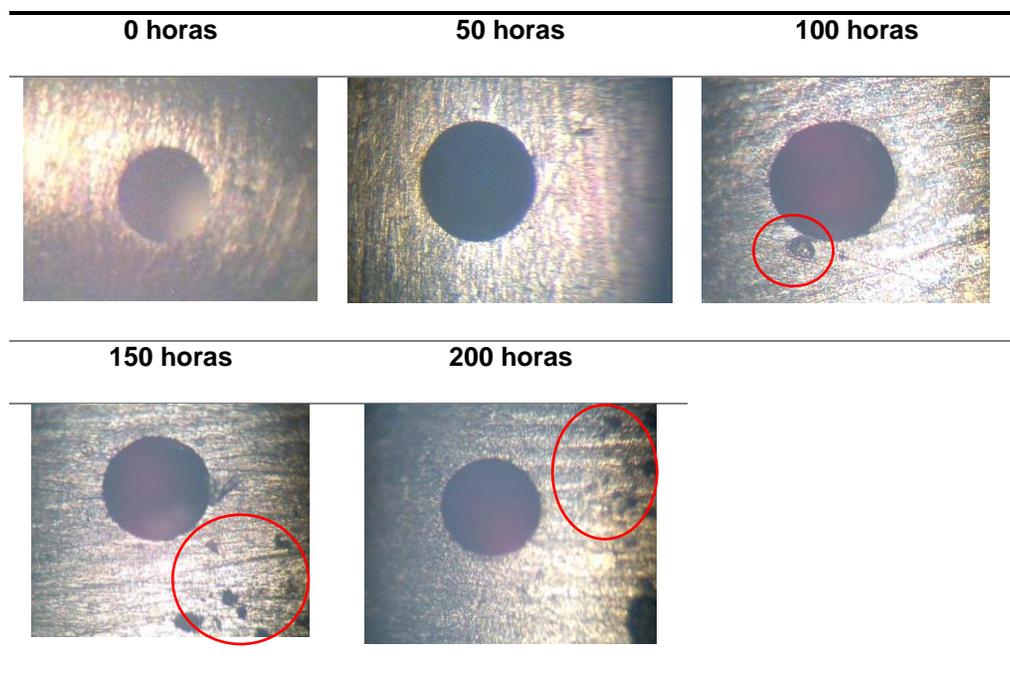
En la tabla 117, se puede observar el análisis microscópico de la estructura de la aguja del inyector, en donde se puede visualizar que a partir de las 50 horas de funcionamiento la estructura comenzó a presentar un cambio de coloración por la contaminación con la mezcla combustible, cabe recalcar que este componente posee un recubrimiento de carbono para aumentar su dureza superficial, sin embargo a partir de

las 150 horas se comenzó a evidenciar la presencia de desgaste abrasivo y cavitación en su superficie.

4.4.3 Análisis microscópico del perfil del agujero de pulverización de la tobera

Tabla 112

Microestructura del agujero de pulverización de la tobera



En la tabla 118, se puede visualizar el análisis microscópico de la estructura del perfil del agujero de pulverización del inyector, en donde se puede visualizar que no existe una deformación o destrucción del perfil, se puede visualizar la existencia de desgaste abrasivo en el área alrededor del agujero a partir de las 100 horas de funcionamiento.

CAPÍTULO V

5. MARCO ADMINISTRATIVO

5.1 Recursos

Para la realización de la investigación, se llevó un orden establecido con el fin de optimizar los recursos necesarios para la misma, entre ellos se detallan recursos humanos, tecnológicos, materiales y financieros.

5.1.1 Recursos humanos

El desarrollo de la investigación “Análisis del desgaste del pulverizador y comportamiento electrónico de inyectores CRDI y bomba de alta presión CP al utilizar la mezcla de combustible diésel surfactantes de agua”, fue realizada por los señores:

Tabla 113

Colaboradores de la investigación

ORD.	NOMBRE	DETALE	CARRERA / DEPARTAMENTO
1	Srta. Julieta Bassante	Investigadora	Ingeniería Automotriz
2	Sr. Santiago Díaz	Investigador	Ingeniería Automotriz
3	MSc Germán Erazo	Director	Ciencias Energía y Mecánica
4	MSc Luis Mena	Colaborador	Ciencias Energía y Mecánica

Es necesario recalcar el asesoramiento del MSc Germán Erazo como director de la investigación, así como los demás docentes y asesores que participaron de manera directa o indirecta desde el inicio de la investigación hasta su finalización.

5.1.2 Recursos tecnológicos

En la investigación se utilizó recursos tecnológicos variados, los cuales permitieron el desarrollo de la misma y se detallan en la siguiente tabla.

Tabla 114

Recursos tecnológicos

ORD	NOMBRE
1	Osciloscopio
2	Comprobador de aislador de bobina
3	Multímetro
4	Cámara fotográfica
5	Microscopio XJL-17AT
6	CMSRT210 SURFACE ROUGHNESS TESTER
7	Comprobador de inyectores
8	Módulo de activación de inyectores
9	Balanza analítica Adam PW254
10	Computadora
11	Celular

5.1.3 Recursos materiales

Los recursos materiales que se utilizaron para el desarrollo de la investigación son los elementos tangibles, los cuales fueron:

Tabla 115*Recursos materiales*

ORD.	NOMBRE
1	Inyector DENSO
2	Bomba de alta presión DENSO
3	Recipiente de inyector
4	Depósito de combustible
5	Convertor DC –DC
6	Fuente de alimentación

5.2 Análisis de costos de la investigación

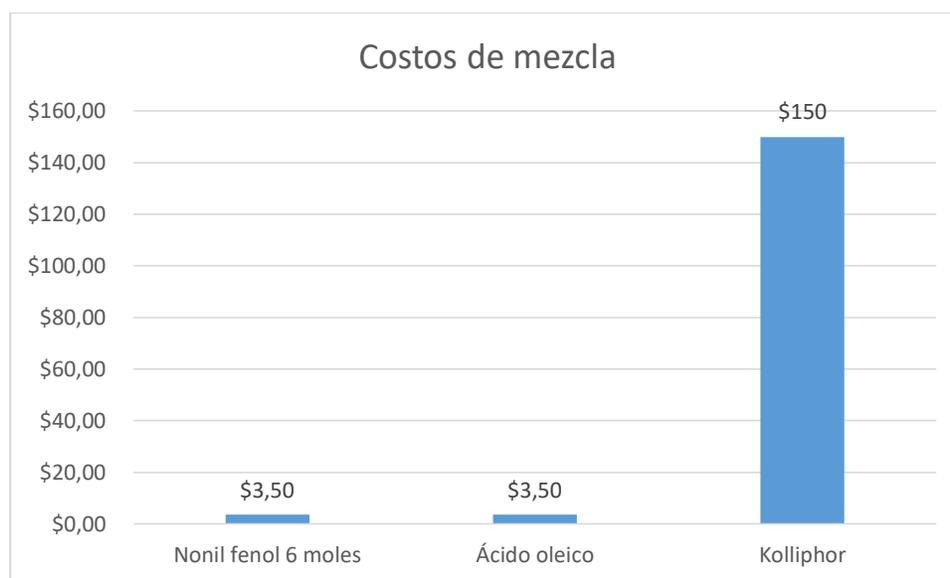
Para el desarrollo de la investigación se consideran costos realizados, tales como, costos de materiales y equipos necesarios para la obtención de la mezcla, adecuación del banco de pruebas, costo de inyectores y bomba de alta presión, costo de pruebas de comprobación de inyectores, de pruebas de rugosidad y costos generales.

5.2.1 Costos de obtención de mezcla combustible

Para la realización de la mezcla combustible es necesario la adquisición de químicos tenso activos y emulsionantes, equipos de laboratorio, a continuación se detalla los elementos requeridos:

Tabla 116*Costo de la obtención de la mezcla combustible*

Descripción	Cantidad	Valor U.	Valor total
Nonil fenol 6 moles	1kg	3.50	\$3.50
Ácido oleico	1kg	3.50	\$3.50
Kolliphor	1/2kg	150	\$150
Recipiente plástico 3Gal.	1	4	\$4
Diésel	6lt	1.05	\$6.30
Agua destilada	1gal	3.50	\$3.50
Equipos de laboratorio (vasos de precipitación)	1	20	\$20
		TOTAL	\$190.80

**Figura 123.** Costos de surfactantes

El costo de los tensoactivos emulsionantes utilizados para la investigación se presenta en la figura 127, dentro de los cuales se puede identificar el elevado costo del tensoactivo Kolliphor, además de ser el más complicado de conseguir en el país.

5.2.2 Costos de adecuación del banco de pruebas

Debido a tesis realizadas anteriormente con biodiesel en el banco para la comprobación de inyectores diésel: Denso, Delphi y Bosch del sistema CRDI de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE extensión Latacunga, este presentaba contaminación en su sistema hidráulico por lo que fue necesario el adecuamiento del mismo. Además que fue necesario el diseño y construcción de un módulo de inyección para activar al inyector, conforme a las necesidades requeridas para las pruebas, en el siguiente recuadro se presentan los costos de dicha adecuación:

Tabla 117

Costos de adecuación del banco simulador de pruebas

Descripción	Cantidad	Valor U.	Valor total
Inyectores Denso 6521	2	260	\$540
Bomba de alta presión	1	800	\$800
Denso			
Socket de conexión	2	10	\$20
Módulo electrónico	1	120	\$120
generador de pulsos			
Conversor DC-DC 1500W	1	40	\$40

CONTINÚA



Fuente de alimentación	1	25	\$25
12V			
Recipiente de vidrio para mezcla	1	30	\$30
Manguera	3 metros	0.5	\$1.50
Limpia carburador	1	3.50	\$3.50
		Total	\$1580

5.2.3 Costos de pruebas de inyectores

Al finalizar cada periodo de funcionamiento del inyector usando la mezcla combustible diésel surfactantes de agua, se realizó la comprobación del inyector en el banco de pruebas.

Tabla 118

Costo de pruebas de inyectores

Descripción	Cantidad	Valor U.	Valor total
Prueba de funcionamiento de inyectores Full Diésel Valencia	5	25	\$125
		Total	\$125

5.2.4 Costo total de la investigación

Además de los gastos ya mencionados anteriormente, se deben añadir gastos de movilización, recursos de oficina utilizados en el desarrollo de la investigación.

Tabla 119*Costo total de la investigación*

Descripción	Valor
Obtención de la mezcla combustible	\$190.80
Adecuación del banco simulador	\$1580
Pruebas de inyectores	\$125
Costo de movilización	\$180
Material de oficina	\$100
Total	\$2175.80

CONCLUSIONES

- Se investigó en bases digitales como google académico, Scribd, Science Direct, Manuales DENSO. Las cuales permitieron desarrollar la investigación.
- Se preparó la mezcla combustible diésel surfactantes de agua al 20%, revisando el proceso establecido en investigaciones previas.
- Se realizó el protocolo de pruebas de durabilidad en el inyector DESNO y bomba de alta presión al trabajar con la mezcla combustible en intervalos de 50, 100, 150 y 200 horas.
- Se verifico el comportamiento electrónico del inyector comprobando la inductancia, resistencia de la bobina y aislamiento de la bobina.
- Se analizó el caudal de entrega, estanqueidad y caudal de retorno del inyector en un banco de pruebas CRDI en test de ralentí, pre inyección y plena carga
- Se comprobó el estado de los componentes internos del inyector y bomba de alta presión acorde a los periodos de trabajo establecidos.
- Se determinó el peso de componentes internos del inyector y bomba de alta presión al finalizar cada período de funcionamiento mediante balanzas analíticas de tres y cuatro décimas.
- Se examinó la microestructura superficial de los principales componentes de desgaste de la bomba de alta presión e inyector, utilizando un rugosímetro.
- Se verifico la microestructura del émbolo de mando, aguja y agujeros de pulverización, mediante un microscopio.

- Se analizó la durabilidad de los elementos internos del inyector y bomba de alta presión al trabajar con la mezcla combustible diésel surfactantes de agua mediante la comparación de medidas.
- Se determinó que por el tiempo de vida útil que tiene el inyector no es factible del uso de la mezcla combustible diésel surfactantes de agua como fuente de energía alternativa.
- Las pruebas de comportamiento electrónico del inyector de inductancia, resistencia de la bobina y aislamiento de la bobina, indican que inyector no presentó ninguna variación en sus medidas en cada periodo de trabajo, lo que demuestra que la mezcla combustible no afecta el comportamiento electrónico.
- En el análisis de peso de la bomba de alta presión el elemento que presento mayor pérdida de masa fue la bomba de succión superior, disminuyendo 0,975 g de su peso inicial, el elemento dentro del inyector que más pérdida de masa obtuvo fue la portatobera, reduciendo 0.095 g de su peso a las cero horas.
- Dentro del análisis visual a los elementos del inyector se logró observar que los elementos no presentan un desgaste anormal, únicamente se presentó una variación en el color de algunos componentes internos, específicamente en la varilla de empuje y resorte los cuales se oscurecieron al trabajar con la mezcla combustible, en la bomba de alta presión no se observó ningún desgaste excesivo en sus componentes.
- En el análisis de rugosidad de la microestructura se logró determinar que en el inyector el elemento que más aumento su rugosidad fue la aguja, aumentando 0,197 μm , dentro de la bomba de alta presión el componente que más desgaste presento en su

microestructura fue el árbol de levas específicamente en el sector 2, elevando su rugosidad en $0,258 \mu\text{m}$.

- En el análisis de la microestructura mediante un microscopio, se logró visualizar la contaminación que presentaron los elementos de principal desgaste en el inyector, la presencia de desgaste abrasivo y cavitación fue evidente en el embolo de mando, aguja y pulverizador, así también se evidencio que en la aguja existió una contaminación por los tensoactivos utilizados en la mezcla, el orificio del pulverizador de la tobera no presento deformación, pero si cavitación en sus alrededores.
- En los test realizados en el banco de pruebas CRDI al inyector se logró determinar que en la prueba de estanqueidad el inyector cumple los parámetros de funcionamiento indicados por el fabricante, en el test de pre inyección se perdió la medida de retorno de combustible a las 200 horas, en el test de ralentí el inyector sobrepaso los valores de operación indicados por el fabricante a las 200 horas, en el test de plena carga el valor de caudal de retorno se encontró fuera de los valores indicados por el fabricante dentro de las 200 horas.

RECOMENDACIONES

- Los parámetros de funcionamiento para la activación del inyector deben ser previamente calculados para preservar y asegurar el correcto funcionamiento del inyector.
- Antes de realizar la medición con las herramientas tecnológicas es necesario calibrar previamente estos equipos para la obtención de medidas confiables.
- Para un correcto funcionamiento del sistema en el banco de pruebas es necesario revisar la presión de operación en el riel común dando lectura al manómetro instalado, no sobrepasar los 5000 psi de para evitar un sobrecalentamiento del combustible, así como también evitar el funcionamiento por más de 5 minutos consecutivos para lograr disipar la temperatura generada por la corriente en la bobina del inyector.
- Revisar los puntos de conexión de las tuberías y salidas de alta presión, dado que al accionar el banco de pruebas pueden existir fugas riesgosas.
- Para la manipulación de los elementos desarmados tanto de la bomba como del inyector utilizar guantes y líquidos de limpieza para evitar la contaminación de los mismos y poder obtener lecturas reales de las superficies, al momento de realizar el armado verificar que las juntas tóricas se encuentren en buen estado utilizar WD 40.
- Para futuros proyectos de investigación debido al elevado costo del Kolliphor, uno de los tensoactivos no iónicos utilizados en la elaboración de la mezcla, se recomienda la investigación de otros tensoactivos que tienen un costo menor, como por ejemplo el TWEEN 20.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acuña, B., & Morales, S. (2016). *ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LOS MATERIALES DE FABRICACIÓN DEL INYECTOR Y LA BOMBA DE ALTA PRESIÓN AL TRABAJAR CON MEZCLA COMBUSTIBLE OBTENIDO A PARTIR DEL ACEITE RECICLADO DE FRITURAS*. Latacunga: Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE-L.
- Alonso, J. (2001). *Técnicas del automóvil. Motores*. Madrid: Paraninfo.
- Alonso, J. (2001). *Técnicas del Automóvil: Sistema de Inyección de Inyección de Combustible en los motores Diésel*. Madrid: Thomson Editores.
- Analuisa, R., & Vizcaino, E. (2016). *ANÁLISIS DE DURABILIDAD DE LOS MATERIALES DE FABRICACIÓN DEL INYECTOR DENSO 6521 DEL SISTEMA DE INYECCIÓN CRDI AL TRABAJAR CON LA MEZCLA COMBUSTIBLE OBTENIDO A PARTIR DEL ACEITE DE MOTOR RECICLADO*. Latacunga: Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE-L.
- Apilluelo, A., Carabantes, I., & Artur, U. (2005). *Dibujo Industrial Conjuntos y Despieces*. Madrid: Thomson.
- ARIS. (2012). Nonil fenol etoxilado 6 moles. Lima, Perú: ARIS industrias.
- Auria, J., Ibañez, P., & Ubiero, P. (2005). *Dibujo Industrial Conjuntos y Despieces*. Madrid: Thomson Editores .
- Barquero, C. (10 de 02 de 2012). *Mecánicos Costarica*. Recuperado el 05 de 01 de 2019, de <http://www.mecanicoscostarica.net/Tips%20tecnicos/sensor%20diesel.htm>
- BASF, S. (2012 de Marzo de 2012). *Technical Information*. Recuperado el 05 de 01 de 2019, de Kolliphor EL: [https://industries.basf.com/en/documentDownload.8805244447189.Kolliphor or%C2%AE%20EL%20-%20Technical%20Information.pdf](https://industries.basf.com/en/documentDownload.8805244447189.Kolliphor%C2%AE%20EL%20-%20Technical%20Information.pdf)
- Bernabé, V. (2007). *Caracterización y determinación de surfactantes y otros componentes en productos de limpieza con aplicación en control de calidad de formulaciones industriales*. Valencia: Universitat de València Servei de Publicacions.
- Besante, F., & Jubera, M. (1985). *Tecnología del Automóvil*. Barcelona: Reverte.
- Bombón, A., & Chalco, P. (2016). *INVESTIGACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO Y ELECTRÓNICO DE LOS INYECTORES DE MARCA DELPHI "EJBR02801D" Y "EJBR04601D" DEL SISTEMA DE INYECCIÓN CRDI (COMMON RAIL DIESEL INJECTION)*. Latacunga: Universidad de la Fuerzas Armadas ESPE-L.
- Bosch, R. (2005). *Sistema de inyección diesel por acumulador Common Rail*. ROBERT BOSCH GMBH. Recuperado el 06 de 01 de 2019, de <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=3Jll1hs3QiMC&oi=fnd&pg=PA4&dq=sistema+de+i>

nyeccion+diesel+common+rail&ots=rug4HY1Jlx&sig=GZLs1mINstaXgRDpXa5c0sqb5zY#v=onepage&q=sistema%20de%20inyeccion%20diesel%20common%20rail&f=false

- Bosch, R. (2005). *Técnica de gases de escape para motores Diesel*. Alemania: Bosch.
- Bosch, R. (2006). *Componentes del sistema*. Italia: A. Marquioni.
- Brasil, G. d. (2018). *Speemaq*. Obtenido de <http://speedmaq.com.br/nossos-produtos/s40/>.
- Carrillo, C., & Sedano, S. (04 de 2017). *CONUEE*. Recuperado el 06 de 01 de 2019, de <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/241728/DieselFT.pdf>
- Carrillo, H., & Taco, C. (2018). *ANÁLISIS TERMOGRÁFICO Y CONTROL DE EMISIONES DE LA MEZCLA COMBUSTIBLE DIÉSEL – SURFACTANTES DEL AGUA EN EL MOTOR MZR-D 2.5*. Latacunga : Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.
- Castañeta, H., Gemio, R., Yapu, W., & Nogales, J. (2011). MICROENCAPSULACION, UN METODO PARA LA CONSERVACION DE PROPIEDADES FISICOQUIMICAS Y BIOLOGICAS DE SUSTANCIAS QUIMICAS. *Revista Boliviana de Química*, 135-140.
- CEDROSA. (2004). *ACIDO OLEICO PURO*. México: Central de drogas S.A. Recuperado el 07 de 01 de 2019, de <https://www.cedrosa.com.mx/info/a688.htm>
- Cristiano, D., & Fernandez, R. (2010). *Aademia*. Recuperado el 07 de 01 de 2019, de GRUPO TECNOLOGÍA MECÁNICA – PROCESOS DE FABRICACIÓN AJUSTES Y TOLERANCIAS: https://www.academia.edu/35581658/GRUPO_TECNOLOGIA_MECANICA_PROCESOS_DE_FABRICACION_AJUSTES_Y_TOLERANCIAS_Pagina_1_de_39
- Delphi. (2007). *Manual comon rail principios de funcionamiento*. Francia: Delphi France SAS Diesel Aftermarket.
- Denso Corporation. (2004). *Manual de servicio*. Japón: Denso Corporation.
- Díaz del Castillo, F. (2007). *TRIBOLOGÍA: FRICCIÓN, DESGASTE Y LUBRICACIÓN*. Cuautitlán: UNAM CUAUTITAN.
- Díaz, F. (2007). *TRIBOLOGÍA: FRICCIÓN, DESGASTE Y LUBRICACIÓN*. Cuautitlán: UNAM CUAUTITAN.
- Guzmán, A., & Peralvo, M. (2011). *Estudio de las emisiones de gases contaminantes de un motor de ciclo Diesel, usando combustible microemulsionado con agua*. Quito: Escuela Politecnica Nacional.
- Hinojosa, M., & Reyes, M. (2011). *La rugosidad de las superficies*. Topometria.
- Holmberg, K., Jönsson, B., Kronberg, B., & Lindman, B. (2003). *Surfactants and polymers in aqueous solution*. Inglaterra: John Wiley & Sons, Ltd.
- INEN1489. (2002). *Productos derivados de Petroleo, Dsiésel, Requisitos*. Quito: INEN.
- INEN-ISO, 1.-1. (2006). *INEN-ISO 12156-1*. Ecuador: INEN.

- Jácome, M., & López, N. (2013). *Construcción y programación de un módulo electrónico para comprobación y calibración de inyectores diésel CRDI*. Latacunga: Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.
- Jimenez, F. (2013). Emulsiones múltiples; compuestos bioactivos y alimentos funcionales. *Nutrición Hospitalaria*, 1413-1421.
- Morales, A. (5 de Marzo de 2015). *Denso*. Recuperado el 08 de 01 de 2019, de <https://es.scribd.com/doc/257782991/Denso> Mott, R. (2006).
- Morán, C., & Passo, M. (2016). *Diseño y construcción del sistema de activación y control de inyectores Diesel riel común CRDI*. Latacunga: Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE-L.
- MundoDiario. (14 de 06 de 2014). *Los motores Diesel son muy vulnerables al uso de combustibles de mala calidad*. Recuperado el 08 de 01 de 2019, de <https://www.mundidiario.com/articulo/economia/motores-diesel-son-extraordinariamente-vulnerables-uso-combustibles-mala-calidad/20140628182049019726.html>
- Ortega, M. (2009). *Comportamiento Reológico de disoluciones acuosas de surfactantes comerciales no iónicos*. Granada: Universidad de Granada.
- Payri, F., & Desantes, J. (2011). *Motores de combustión interna alternativos*. Barcelona: UPV.
- Payri, F., & Desantes, M. (2011). *Motores de combustión interna alternativos*. Barcelona: Reverté.
- Payri, F., & Desantes, M. (2013). *Motores de combustión interna alternativos*. Barcelona : Reverté.
- Perez Acevedo, M. (2005). *"Desgaste por rodadura y deslizamiento en componentes mecánicos"*. Cuba: UCLV.
- Pucuji, D. (2016). Investigación del potencial energético de la emulsión diésel -agua al 5-10-15 Y 20 % con el uso de surfactante para determinarsu influencia en los parámetros mecánicos y térmicos del motor de combustion interna. Latacunga: Universidad de las Fuerzas Armadas Espe.
- Pucuji, D. (2016). Investigación del potencial energético de la emulsión diésel -agua al 5-10-15 Y 20 % con el uso de surfactante para determinarsu influencia en los parámetros mecánicos y térmicos del motor de combustion interna. Latacunga: Universidad de las Fuerzas Armadas Espe.
- Químicos y Aceites Especiales QAE. (2016). *Nonil fenol con 6 moles*. Recuperado el 04 de 01 de 2019, de <http://qae.com.mx/nonil/>
- Ralbovsky, E. (2000). *Motores Diesel*. Madrid: PARANINFO.
- Romo, L. (1993). *Emulsiones Fundamentos Físicoquímicos Formulación y Aplicaciones*. Quito: Universitaria .
- Salinas, C., & Villavicencio, R. (2013). *"Diseño y construcción mecánica de un banco de comprobación de inyectores diesel: Denso, Delphi, Bosch del sistema CRDI."*. Latacunga: Univerdidad de las Fuerzas Armadas ESPE.

Salinas, D., & Villavicencio, J. (Diciembre de 2013). *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN MECÁNICA DE UN BANCO PARA LA COMPROBACIÓN DE INYECTORES DIESEL: DENSO, DELPHI Y BOSCH DEL SISTEMA CRDI*. Latacunga, Cotopaxi, Ecuador.

Smith, W., & Hashemi, J. (2006). *Fundamentos de la ciencia e ingeniería de materiales*. México, DF: Mc Granw Hill.

Tecnología_Mecánica. (2010). *Facultad de ingeniería Universidad Mar del plata*. Recuperado el 10 de 01 de 2019, de <http://www3.fi.mdp.edu.ar/tecnologia/archivos/TecFab/10.pdf>

ANEXOS



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

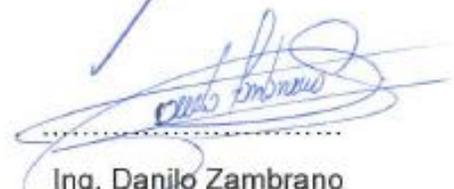
CERTIFICACIÓN

Se certifica que el presente trabajo fue desarrollado por los señores BASSANTE BARBERÁN JULIETA MISHHELL y DÍAZ VIVANCO ÁNGEL SANTIAGO.

En la ciudad de Latacunga a los 22 del mes de enero de 2019.



.....
Ing. Germán Erazo
DIRECTOR DEL PROYECTO



.....
Ing. Danilo Zambrano
DIRECTOR DE LA CARRERA

Aprobado por:



.....
Ab. Darwín Albán
SECRETARIO ACADÉMICO

