



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 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**

AUTORES:

RICARDO SANTIAGO ANALUISA TIPANTUÑA

EDISON GEOVANNI VISCAINO DE LA CRUZ

DIRECTOR: PhD. MARCOS GUTIÉRREZ

LATACUNGA

2016



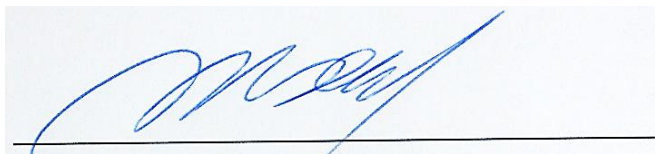
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

CERTIFICACIÓN

Certifico, que el trabajo de titulación, **“ANÁLISIS 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”** realizado por los señores **RICARDO SANTIAGO ANALUISA TIPANTUÑA** y **EDISON GEOVANNI VISCAINO DE LA CRUZ**, ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, por los tanto me permito acreditarlo y autorizar a los señores **RICARDO SANTIAGO ANALUISA TIPANTUÑA** y **EDISON GEOVANNI VISCAINO DE LA CRUZ** para que los sustenten públicamente.

Latacunga, 05 de diciembre del 2016



PHD. MARCOS XAVIER GUTIÉRREZ OJEDA



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

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, ***RICARDO SANTIAGO ANALUISA TIPANTUÑA***, con cédula de identidad N° 1720695988, y ***EDISON GEOVANNI VISCAINO DE LA CRUZ***, con cédula de identidad N° 1719864298, declaramos que este trabajo de titulación ***“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”*** ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaro que este trabajo es de mi autoría, en virtud de ello me declaro responsable del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

Latacunga, 05 de diciembre del 2016

Ricardo Santiago
Analuisa Tipantuña
C.C.: 172069598-8

Edison Giovanni
Viscaino de la Cruz
C.C.: 171986429-8



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

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

AUTORIZACIÓN

Nosotros, ***RICARDO SANTIAGO ANALUISA TIPANTUÑA y EDISON GEOVANNI VISCAINO DE LA CRUZ***, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en la biblioteca Virtual de la institución el presente trabajo de titulación ***“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”*** cuyo contenido, ideas y criterios son de mi autoría y responsabilidad.

Latacunga, 05 de diciembre del 2016

Ricardo Santiago
Analuisa Tipantuña
C.C.: 172069598-8

Edison Geovanni
Viscaino de la Cruz
C.C.: 171986429-8

DEDICATORIA

Al padre celestial por permitirme llegar a culminar esta etapa tan importante en mi vida.

A mis Padres Bolivitar y Ximenita, que, con su ejemplo de vida, su esfuerzo y sus consejos supieron guiarme y ser los principales participes de mi crecimiento espiritual, personal y profesional, dejando en mi un deseo inmenso de superación y responsabilidad; mi hermano Lenin, por su apoyo incondicional y su comprensión que motivo mi deseo de éxito para convertirme en su ejemplo a seguir.

A mi abuelita Michita, mi segunda madre, por el esfuerzo que dedicó para verme convertido en un profesional y poder alcanzar mis anhelos, infinitamente agradecido; a toda mi familia, por el tiempo dedicado para brindarme aportes invaluableles que servirán para toda mi vida y especialmente por el apoyo motivacional, son parte indiscutible de mi logro.

DEDICATORIA

A toda mi familia la cual fue un soporte fundamental en momentos de flaqueza e incertidumbre.

En especial a mis padres Rosa y Vicente que con su ejemplo de dedicación y perseverancia empujaron un sueño anhelado y sin ser menos importantes mis hermanos Martha y Cristian que con su cariño y apoyo incondicional hicieron de la distancia del hogar un anhelo de regresar.

Fernanda y Martin un consuelo, una inspiración resumida en un amor bonito, lo logramos, se ve cristalizado una promesa que juramos.

A José, que más que un tío un hermano que sin dudar me has apoyado, un día te prometí regresar con la meta cumplida, lo logré, gracias por tu apoyo, misión cumplida loquito.

AGRADECIMIENTO

Mi más sincero agradecimiento al Ing. Marcos Gutiérrez PhD, por su dedicación y su afán de compartir su conocimiento, sus orientaciones, su manera de trabajar, elementos fundamentales en mi formación como investigador.

Al Ing. Germán Erazo, un excelente profesional, que siempre estuvo dispuesto a colaborar sin interés alguno en mi formación como profesional, un ejemplo a seguir.

A mi sincero y noble amigo Geovanni, que siempre estuvo presente brindándome su apoyo y sus conocimientos sin ningún interés para culminar con éxito este proyecto, infinitamente agradecido.

Por último, pero no menos importante, a mis amigos, mi segunda familia lejos de mi hogar, con quien compartí experiencias inolvidables y me demostraron el verdadero significado de la amistad brindándome su afecto y apoyo cuando debieron, infinitas gracias: Gabriel Monteros, Carolina Villacis, Tatiana Álvarez, Danny Oña, Andrea Gallardo, Vinicio Tenorio, Lisbeth Rodríguez, Alejandra Moyano y con mucho cariño a Carlita Poleth.

RICARDO SANTIAGO ANALUISA TIPANTUÑA

AGRADECIMIENTO

Un agradecimiento especial al Ing. Marcos Gutiérrez PhD. Que fomento el espíritu de investigación, de adquirir conocimientos determinantes en la formación profesional.

Al Ing. Germán Erazo, docente integral que supo compartir sus conocimientos profesionales con el simple afán de superación de sus alumnos.

A un amigo sincero Ricardo, por ser una persona correcta sin interés alguno ayudaste a cumplir una meta.

A un gran maestro, Germán Codena que me transmitió sus conocimientos profesionales que fueron de gran ayuda en mi formación.

EDISON GEOVANNI VISCAINO DE LA CRUZ

ÍNDICE DE CONTENIDOS

PORTADA.....	i
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ.....	i
CERTIFICACIÓN.....	ii
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	iii
AUTORIZACIÓN	iv
DEDICATORIA	iv
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO	vii
AGRADECIMIENTO	viii
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xvii
ÍNDICE DE TABLAS	xxii
RESUMEN.....	xxvii
ABSTRACT.....	xxviii
PRESENTACIÓN	xxix

CAPÍTULO I

1. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	1
1.1. Antecedentes investigativos	1
1.2. Planteamiento del problema	2
1.3. Descripción resumida del proyecto	3
1.4. Justificación e importancia	5
1.5. Objetivos	5
1.5.1. Objetivo general.....	5

	x
1.5.2. Objetivos específicos	5
1.6. Metas	6
1.7. Hipótesis.....	6
1.8. Variables de investigación	7
1.8.1. Independiente.....	7
1.8.2. Dependiente	7
1.8.3. Operacionalización de las variables.....	7
1.9 Metodología	8
1.9.1 Investigación aplicada	8
1.9.2 El método científico	8

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO	9
2.1. Fundamentos de la inyección de combustible	9
2.2. Fases del proceso de combustión de un motor diésel	10
2.1.1. Tiempo de retraso	10
2.1.2. Combustión premezclada	11
2.1.3. Combustión por difusión.....	11
2.1.4. Combustión poro difusión tardía	11
2.3. Combustibles.....	12
2.3.1. Combustible diésel	12
2.3.2. Propiedades de combustible diésel.....	12
2.4. Requisitos técnicos para diésel premium Ecuador	13
2.4.1. Diésel No.1	14
2.4.2. Diésel No.2	14
2.4.3. Diésel premium	15

2.5.	Aceite base reciclado	15
2.6.	Obtención de diésel No.2 a partir de aceite lubricante usado de automóviles	15
2.6.1.	Proceso de obtención de aceite base	16
2.7.	Sistema de inyección diésel common rail	18
2.7.1.	Campos de aplicación	19
2.7.2.	Estructura	20
2.7.3.	Funcionamiento	21
2.8.	Inyector common rail con válvula electromagnética	22
2.8.1.	Funcionamiento inyector common rail	22
2.8.2.	Activación del inyector common rail con válvula electromagnética	24
2.8.3.	Características constitutivas del inyector denso	26
2.8.4.	Tipos de inyectores common rail denso	26
2.8.5.	Características constructivas para inyectores diésel common rail	28
2.9.	Rugosidad	29
2.9.1.	Introducción	29
2.9.2.	Estados de superficies	30
2.9.3.	Parámetros de la rugosidad superficial	32
2.9.4.	Rugosidad media aritmética Ra	33
2.10.	Desgaste	37
2.10.1.	Desgaste abrasivo	38
2.10.2.	Desgaste corrosivo	38
2.11.	Norma para determinar la lubricidad NTE INEN-ISO 12156-1	40
2.11.1.	Principio del método	40
2.11.2.	Modelos de huella de desgaste	41

CAPÍTULO III

3. PROTOCOLO DE PRUEBAS	42
3.1. Equipos.....	42
3.1.1. Banco para comprobación de inyectores CRDI - ESPE.....	42
3.1.2. Comprobador de inyectores riel común ZAPP	43
3.1.3. Microscopio invertido Meiji techno serie IM-7000.....	45
3.1.4. Balanza analítica ADAM.....	47
3.1.5. Rugosímetro tester SRT-6200	50
3.1.6. Módulo de activación de inyectores	51
3.1.7. Equipo de seguridad industrial	52
3.2. Obtención de mezcla-combustible	53
3.2.1. Recolección del aceite lubricante sintético usado de motor	53
3.2.2. Filtración del aceite lubricante sintético usado de motor	53
3.2.3. Primera destilación.....	54
3.2.4. Segunda destilación.....	56
3.2.5. Preparación mezcla-combustible.....	57
3.3. Protocolo de pruebas 50, 100, 150 y 200 horas aplicando mezcla - combustible.....	58
3.3.1. Elección del tiempo de duración de la prueba	58
3.3.2. Adecuación de banco de pruebas comprobador de inyectores CRDI - ESPE	58
3.3.3. Calibración de presión con sensor FRP	60
3.3.4. Inicio de prueba de aplicación de mezcla-combustible	63
3.3.5. Protocolo de extracción de los inyectores 50, 100, 150 y 200 horas respectivamente	66
3.4. Comprobación de estado de inyectores con máquina ZAPP	68

3.5.	Protocolo de visualización de microestructuras	70
3.5.1.	Preparación de los elementos a visualizar	70
3.5.2.	Verificación de microscopio marca Meiji modelo 7000.....	72
3.5.3.	Visualización de microestructuras	72
3.6.	Protocolo de medición de rugosidad de las superficies	75
3.6.1.	Preparación de las superficies de los elementos	75
3.6.2.	Calibración del equipo	76
3.6.3.	Medición de rugosidad de la superficie de los elementos del inyector.....	77
3.7.	Protocolo de pesaje de elementos internos del inyector	78
3.7.1.	Preparación de los elementos.....	78
3.7.2.	Pesaje de los elementos	79

CAPÍTULO IV

4.	ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN	81
4.1.	Análisis resultados banco de pruebas marca zapp modelo D52R- A	81
4.1.1.	Análisis comparativo test R2LC: Pruebas eléctricas de inductancia y resistencia aplicadas a la bobina ($\mu\text{H}/\Omega$).....	81
4.1.2.	Análisis comparativo test iVM (TP1): Plena carga	83
4.1.3.	Análisis comparativo test iVM (TP2): Carga parcial.....	85
4.1.4.	Análisis comparativo test iVM (TP3): Emisiones.	86
4.1.5.	Análisis comparativo test iVM (TP4): Carga baja	88
4.2.	Inspección visual de elementos de inyector denso 6521 common rail.....	89
4.2.1.	Análisis comparativo portatobera	89
4.2.2.	Análisis comparativo tobera.....	89

4.2.3. Análisis comparativo aguja	90
4.2.4. Análisis comparativo resorte aguja	91
4.2.5. Análisis comparativo base resorte aguja	91
4.2.6. Análisis comparativo base con destaje de resorte de aguja.....	91
4.2.7. Análisis comparativo guía 1	92
4.2.8. Análisis comparativo guía 2.....	92
4.2.9. Análisis comparativo asiento de válvula.....	93
4.2.10. Análisis comparativo válvula	93
4.2.11. Análisis comparativo émbolo de mando	94
4.2.12. Análisis comparativo válvula solenoide.....	94
4.2.13. Análisis comparativo anillo de calibración	95
4.2.14. Análisis comparativo resorte solenoide.....	95
4.2.15. Análisis comparativo arandela de solenoide.....	96
4.2.16. Análisis comparativo solenoide	96
4.2.17. Análisis comparativo cuerpo del inyector	96
4.3. Análisis comparativo de microestructura mediante microscopio Meiji modelo 7000	97
4.3.1. Análisis microscópico émbolo de mando.....	98
4.3.2. Análisis microscópico aguja de la tobera	103
4.3.3. Análisis microscópico orificio de pulverización de la tobera del inyector.....	106
4.4. Análisis cuantitativo de rugosidad superficial del inyector denso 6521	108
4.4.1. Medición de rugosidad en émbolo de mando sector	108
4.4.2. Aguja del inyector	111
4.5. Análisis de pesos de los elementos del inyector denso 6521	113
4.5.1. Comparación de pesos portatobera	114

4.5.2. Comparación de pesos tobera	115
4.5.3. Comparación de pesos rotor	116
4.5.4. Comparación de pesos émbolo de mando	117
4.5.5. Comparación de pesos aguja	117
4.5.6. Comparación de pesos resorte tobera	118
4.5.7. Comparación de pesos guía 1	119
4.5.8. Comparación de pesos guía 2	120
4.5.9. Comparación de pesos arandela inferior	121
4.5.10. Comparación de pesos arandela superior	122
4.5.11. Comparación de pesos pistón de empuje	123
4.5.12. Comparación de pesos resorte bobina	124
4.5.13. Comparación de pesos válvula solenoide	125
4.5.14. Comparación de pesos anillo de calibración	126
4.5.15. Comparación de pesos arandela de calibración	127

CAPÍTULO V

5. MARCO ADMINISTRATIVO	129
5.1. Recursos	129
5.1.1. Recursos humanos	129
5.1.2. Recursos tecnológicos.....	130
5.1.3. Recursos materiales	130
5.2. Análisis de costos de la investigación	131
5.2.1. Costos de obtención de mezcla combustible	131
5.2.2. Costos de adecuación de simulador de prueba	131
5.2.3. Costos de pruebas de inyectores	132
5.2.4. Costo total de la investigación	133

5.2.5. Financiamiento.....	133
5.3. Cronograma.....	133
CONCLUSIONES	134
RECOMENDACIONES	136
BIBLIOGRAFÍA	137
NETGRAFÍA.....	139
ANEXOS	140

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Diagrama de causa efecto.	3
Figura 2.	Diagrama de tasa de inyección y tasa de liberación de calor para motor diésel.	11
Figura 3.	Temperatura de craqueo vs tiempo.	17
Figura 4.	Campos de aplicación de los sistemas de inyección diésel.	19
Figura 5.	Sectores del sistema de la gestión del motor con sistema de inyección CRDI.	20
Figura 6.	Componentes de activación para la inyección del sistema common rail.	21
Figura 7.	Estructura sistema de inyección common rail denso.	23
Figura 8.	Modelo de accionamiento de inyector common rail denso.	23
Figura 9.	Secuencia de activación de la válvula electromagnética de alta presión para una inyección.	24
Figura 10.	Circuito básico de la fase de activación en la activación common rail para un grupo de cilindros.	25
Figura 11.	Inyector tipo X1.	27
Figura 12.	Inyector tipo X2.	27
Figura 13.	Inyector tipo G2.	28
Figura 14.	Superficie ideal.	30
Figura 15.	Perfil ideal.	31
Figura 16.	Superficie real.	31
Figura 17.	Perfil real.	31
Figura 18.	Perfil de rugosidad.	32
Figura 19.	Valores en coordenadas de rugosidad.	33
Figura 20.	Tipos de desgaste abrasivo.	38
Figura 21.	Desgaste corrosivo.	39

Figura 22. Ejemplo de forma de huella de desgaste.	41
Figura 23. Banco comprobador de inyectores.	43
Figura 24. Banco comprobador de inyectores marca zapp.	44
Figura 25. Microscopio IM-7000.	46
Figura 26. Balanza analítica.	48
Figura 27. Panel de control balanza analítica.	48
Figura 28. Circuito de módulo de activación de inyectores.	51
Figura 29. Equipo de seguridad laboratorio de química.	52
Figura 30. Aceite de motor usado.	53
Figura 31. Filtros de malla.	53
Figura 32. Filtración de aceite.	54
Figura 33. Equipo de destilación simple.	55
Figura 34. Proceso de llenado de balón volumétrico.	55
Figura 35. Proceso de destilación simple.	56
Figura 36. Filtración aceite base con papel filtro.	57
Figura 37. Medición volumétrica aceite base.	57
Figura 38. Inspección de filtro de combustible diésel.	59
Figura 39. Recipiente mezcla combustible.	59
Figura 40. Módulo de activación de inyectores.	60
Figura 41. Ensamblaje de sistema common rail.	60
Figura 42. Sensor de presión de riel FRP.	61
Figura 43. Activación sensor de presión de riel.	61
Figura 44. Voltajes de operación sensor de presión de riel.	62
Figura 45. Curva sensor FRP banco de pruebas.	63
Figura 46. Módulo de activación bomba de alta presión.	65
Figura 47. Manómetro de presión hidráulica lleno de glicerina.	65

Figura 48. Remoción del socket del inyector.....	66
Figura 49. Extracción del conducto de retorno de diésel.	67
Figura 50. Extracción conducto de alta presión.	67
Figura 51. Bloqueo de salida de inyector extraído.	68
Figura 52. Desactivación de pulso de activación del inyector.	68
Figura 53. Equipo comprobador de inyectores common rail.	69
Figura 54. Proceso de pruebas.....	69
Figura 55. Sectores de análisis émbolo de mando.	70
Figura 56. Sectores de análisis punta del inyector.	70
Figura 57. Sector de análisis tobera (orificios).	71
Figura 58. Proceso de desarmado de la tobera.	71
Figura 59. Elementos de análisis.	72
Figura 60. Operación microscopio Meiji-700.	72
Figura 61. Soporte lente de aumento.	73
Figura 62. Elementos sobre platina.	73
Figura 63. Lente de aumento.	74
Figura 64. Visualización de microestructura en computador.	74
Figura 65. Retoque de imagen.	74
Figura 66. Molde de descanso para porta tobera.....	75
Figura 67. Visualización micro estructural de elementos del inyector.....	75
Figura 68. Rugosímetro y placa de calibración.....	76
Figura 69. Parámetros de calibración.....	76
Figura 70. Elemento sobre mordaza de precisión.	77
Figura 71. Medición superficial de rugosidad.	77
Figura 72. Desmontaje de elementos internos del inyector denso 6521.	78

Figura 73. Extracción de elementos internos.	79
Figura 74. Panel de control de balanza analítica.	79
Figura 75. Pantalla de balanza analítica.	79
Figura 76. Pesaje de porta tobera.	80
Figura 77. Pesaje de aguja.....	80
Figura 78. Relación de valores de inductancia entre el inyector nuevo y usados.....	82
Figura 79. Relación de valores de resistencia entre el inyector nuevo y usados.....	83
Figura 80. Relación de volumen de fluido de retorno a plena carga entre el inyector nuevo y usados.	84
Figura 81. Relación de volumen de fluido de entrega a plena carga entre el inyector nuevo y usados.	85
Figura 82. Relación de volumen de fluido de entrega a carga parcial entre el inyector nuevo y usados.	86
Figura 83. Relación de volumen de fluido de entrega a baja presión entre el inyector nuevo y usados.	87
Figura 84. Relación de volumen de fluido de entrega a carga baja entre el inyector nuevo y usados.	88
Figura 85. Émbolo de mando y sectores de contacto.....	98
Figura 86. Sector uno inyector 50 horas.	99
Figura 87. Sector tres inyector 150 horas.	100
Figura 88. Sector tres inyector 200 horas.	100
Figura 89. Sector uno inyector 100 horas.	101
Figura 90. Sector cinco inyector 100 horas.	102
Figura 91. Sector cinco inyector 200 horas.	103
Figura 92. Aguja de inyector con sus 2 sectores de contacto.	103
Figura 93. Sector uno inyector 100 horas.	104

Figura 94.	Sector uno inyector 150 horas.....	105
Figura 95.	Sector uno inyector 200 horas.....	105
Figura 96.	Orificios de pulverización de la tobera.....	106
Figura 97.	Contorno orificio de pulverización inyector 100 horas.....	107
Figura 98.	Cicatriz de desgaste junto a orificio de pulverización inyector 100 horas.....	108
Figura 99.	Relación de valores de rugosidad en embolo de mando sector 5 entre el Inyector nuevo y usados.....	110
Figura 100.	Relación de valores de rugosidad en aguja del inyector sector 1 entre el Inyector nuevo y usados.....	113
Figura 101.	Comparación visual de pesos de portatobera.....	114
Figura 102.	Comparación visual de pesos de tobera.....	115
Figura 103.	Comparación visual de pesos de rotor.....	116
Figura 104.	Comparación visual de pesos de émbolo de mando.....	117
Figura 105.	Comparación visual de pesos de aguja.....	118
Figura 106.	Comparación visual de pesos de resorte tobera.....	119
Figura 107.	Comparación visual de pesos de guía 1.....	120
Figura 108.	Comparación visual de pesos de guía 2.....	121
Figura 109.	Comparación visual de pesos de arandela inferior.....	122
Figura 110.	Comparación visual de pesos de arandela superior.....	123
Figura 111.	Comparación visual de pesos de pistón de empuje.....	124
Figura 112.	Comparación visual de pesos de resorte de bobina.....	125
Figura 113.	Comparación visual de pesos de válvula solenoide.....	126
Figura 114.	Comparación visual de pesos de aro de calibración.....	127
Figura 115.	Comparación visual de pesos de arandela de calibración.....	128

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	<i>Operacionalización de variable independiente</i>	7
Tabla 2.	<i>Operacionalización de variable dependiente</i>	7
Tabla 3.	<i>Requisito del diésel #2</i>	14
Tabla 4.	<i>Vehículos de turismo common rail</i>	19
Tabla 5.	<i>Parámetros normalizados para Ra (μm)</i>	34
Tabla 6.	<i>Relación de medidas de rugosidad</i>	34
Tabla 7.	<i>Valores de rugosidad para diferentes aplicaciones</i>	35
Tabla 8.	<i>Grado de rugosidad</i>	36
Tabla 9.	<i>Partes banco comprobador de inyectores</i>	43
Tabla 10.	<i>Partes microscopio IM_7000</i>	46
Tabla 11.	<i>Medidas de aumento</i>	47
Tabla 12.	<i>Botones de operación</i>	48
Tabla 13.	<i>Características técnicas</i>	50
Tabla 14.	<i>Hoja de registro primera destilación</i>	56
Tabla 15.	<i>Hoja de registro segunda destilación</i>	56
Tabla 16.	<i>Porcentajes constitutivo de mezcla combustible</i>	58
Tabla 17.	<i>Operación sensor FRP</i>	62
Tabla 18.	<i>Serie inyector denso 6521</i>	63
Tabla 19.	<i>Configuración módulo de activación inyectores</i>	64
Tabla 20.	<i>Lentes de aumento microscopio</i>	73
Tabla 21.	<i>Codificación de inyectores denso 6521</i>	81
Tabla 22.	<i>Valores de inductancia y resistencia especificados por el fabricante</i>	81
Tabla 23.	<i>Valores de inductancia inyectores denso 6521</i>	82
Tabla 24.	<i>Valores de resistencia inyectores denso 6521</i>	82

Tabla 25.	<i>Valores de entrega y retorno de volumen de fluido a plena carga especificados por el fabricante.</i>	83
Tabla 26.	<i>Valores de volumen de retorno de fluido a plena carga inyectores denso 6521.</i>	84
Tabla 27.	<i>Valores de volumen de entrega de fluido a plena carga inyectores denso 6521.</i>	84
Tabla 28.	<i>Valores de entrega de volumen de fluido a carga parcial especificados por el fabricante.</i>	85
Tabla 29.	<i>Valores de entrega de volumen de fluido a carga parcial de los inyectores denso 6521.</i>	86
Tabla 30.	<i>Valores de entrega de volumen de fluido a presión baja especificados por el fabricante.</i>	87
Tabla 31.	<i>Valores de entrega de volumen de fluido a presión baja de los inyectores.</i>	87
Tabla 32.	<i>Valores de entrega de volumen de fluido a carga baja especificados por el fabricante.</i>	88
Tabla 33.	<i>Valores de volumen de entrega de fluido a carga parcial inyectores Denso 6521.</i>	88
Tabla 34.	<i>Análisis comparativo portatobera.</i>	89
Tabla 35.	<i>Análisis comparativo tobera.</i>	89
Tabla 36.	<i>Análisis comparativo aguja de inyector.</i>	90
Tabla 37.	<i>Análisis comparativo resorte.</i>	91
Tabla 38.	<i>Análisis comparativo base de resorte de aguja.</i>	91
Tabla 39.	<i>Análisis comparativo base con destaje de aguja.</i>	91
Tabla 40.	<i>Análisis comparativo guía 1.</i>	92
Tabla 41.	<i>Análisis comparativo guía 2.</i>	92
Tabla 42.	<i>Análisis comparativo asiento de válvula.</i>	93
Tabla 43.	<i>Análisis comparativo válvula del inyector.</i>	93

Tabla 44.	<i>Análisis comparativo embolo de mando.....</i>	94
Tabla 45.	<i>Análisis comparativo válvula solenoide.....</i>	94
Tabla 46.	<i>Análisis comparativo anillo de calibración.....</i>	95
Tabla 47.	<i>Análisis comparativo resorte de solenoide.....</i>	95
Tabla 48.	<i>Análisis comparativo arandela de solenoide.</i>	96
Tabla 49.	<i>Análisis comparativo de la superficie de solenoide.....</i>	96
Tabla 50.	<i>Análisis comparativo superficie superior cuerpo del inyector.</i>	96
Tabla 51.	<i>Análisis comparativo superficie inferior cuerpo del inyector.....</i>	97
Tabla 52.	<i>Microestructuras de los sectores del émbolo de mando inyector nuevo y usados.</i>	98
Tabla 53.	<i>Valores cicatriz de desgaste sector uno inyector 100 horas.</i>	102
Tabla 54.	<i>Valores cicatriz de desgaste sector cinco inyector 100 horas.</i>	102
Tabla 55.	<i>Valores cicatriz de desgaste sector cinco inyector 200 horas.</i>	103
Tabla 56.	<i>Microestructuras de los sectores de la aguja del inyector nuevo y usados.</i>	104
Tabla 57.	<i>Microestructuras de perfil de orificio de pulverización inyector nuevo y usados.</i>	106
Tabla 58.	<i>Valores de diámetro en orificios de pulverización.....</i>	107
Tabla 59.	<i>Valores de rugosidad émbolo de mando sector 5 inyector nuevo.....</i>	109
Tabla 60.	<i>Valores de rugosidad émbolo de mando sector 5 inyector 1 a 50 horas.</i>	109
Tabla 61.	<i>Valores de rugosidad émbolo de mando sector 5 inyector 2 a 100 horas.</i>	109

Tabla 62. <i>Valores de rugosidad émbolo de mando sector 5 inyector 3 a 150 horas.</i>	110
Tabla 63. <i>Valores de rugosidad émbolo de mando sector 5 inyector 4 a 200 horas.</i>	110
Tabla 64. <i>Valores de rugosidad sector 1 aguja del inyector nuevo.</i>	111
Tabla 65. <i>Valores de rugosidad sector 1 aguja del inyector 1 a 50 horas.</i>	112
Tabla 66. <i>Valores de rugosidad sector 1 aguja del inyector 2 a 100 horas.</i>	112
Tabla 67. <i>Valores de rugosidad sector 1 aguja del inyector 3 a 150 horas.</i>	112
Tabla 68. <i>Valores de rugosidad sector 1 aguja del inyector 4 a 200 horas.</i>	112
Tabla 69. <i>Pesos portatobera.</i>	114
Tabla 70. <i>Pesos tobera.</i>	115
Tabla 71. <i>Pesos rotor.</i>	116
Tabla 72. <i>Pesos émbolo de mando.</i>	117
Tabla 73. <i>Pesos aguja.</i>	117
Tabla 74. <i>Pesos resorte tobera.</i>	118
Tabla 75. <i>Pesos guía 1.</i>	119
Tabla 76. <i>Pesos guía 2.</i>	120
Tabla 77. <i>Pesos arandela inferior.</i>	121
Tabla 78. <i>Pesos arandela superior.</i>	122
Tabla 79. <i>Pistón de empuje.</i>	123
Tabla 80. <i>Resorte bobina.</i>	124
Tabla 81. <i>Pesos válvula solenoide.</i>	125
Tabla 82. <i>Pesos anillo de calibración.</i>	126

Tabla 83. <i>Pesos arandela de calibración.</i>	127
Tabla 84. <i>Colaboradores de la investigación.</i>	129
Tabla 85. <i>Recursos tecnológicos.</i>	130
Tabla 86. <i>Recursos materiales.</i>	130
Tabla 87. <i>Costo de obtención de mezcla combustible.</i>	131
Tabla 88. <i>Costos de adecuación de banco simulador de pruebas.</i>	132
Tabla 89. <i>Costo de pruebas de inyectores.</i>	132
Tabla 90. <i>Costo total de la investigación.</i>	133

RESUMEN

La investigación está relacionada con el análisis de los materiales de fabricación de los elementos internos del inyector marca denso serie 6521 al trabajar con mezcla combustible compuesto por diésel 2 y aceite base en una concentración de 85 y 15 % respectivamente. El aceite base se obtuvo aplicando destilación simple a partir de aceite sintético de motor usado. Para la investigación se utilizó cuatro inyectores nuevos, los cuales funcionaron 200 horas en el banco comprobador de inyectores CRDI de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE extensión Latacunga, evaluados en intervalos de 50 horas. Tomando en cuenta los datos de funcionamiento establecidos por el fabricante y valores de un quinto inyector con cero horas de funcionamiento, se comparó: inductancia y resistencia en la bobina, test a plena carga, carga parcial, emisiones y carga baja de los inyectores a prueba. Mediante observación microscópica y medición de la rugosidad se analizó el estado de la microestructura y el acabado superficial de la aguja y émbolo de mando, además de la medición del contorno del orificio de pulverización. A través de una balanza analítica se realizó el pesaje de los elementos internos para determinar su rango de tolerancia mediante comparación de los mismos. Los resultados obtenidos en cada análisis sirven como fundamento para concluir que el comportamiento de los materiales de los elementos del inyector después de trabajar con mezcla combustible es óptimo y viable para su aplicación, además cumple con los parámetros de lubricidad que garantiza un adecuado funcionamiento del sistema.

PALABRAS CLAVE:

- **INYECTOR DIESEL 6521**
- **DURABILIDAD DE MATERIALES**
- **ANÁLISIS MICROESTRUCTURAL**
- **LUBRICIDAD MEZCLA COMBUSTIBLE**

ABSTRACT

The investigation is related to the analysis of the manufacture materials of the internal elements of the Denso Injector series 6521 that was working with a fuel blend composed of diesel 2 and lubrication oil in a concentration of 85 and 15% respectively. The lubrication oil was obtained by simple distillation from used synthetic engine lubrication oil. For the investigation four new injectors were used, which operated 200 hours the CRDI injector checker bench of the University of the Armed Forces ESPE Latacunga extension, evaluated in intervals of 50 hours. Based on the manufacturer's operating values and a fifth injector with zero operating hours, inductance and resistance in the coil, full load test, partial load, emissions and low load of the injectors under test were compared. Through microscopic observation and roughness measurement, the microstructure and surface finish of the needle and control piston were analyzed, as well as the measurement of the contour of the spray orifice. By using an analytical balance, the internal elements were weighed to determine their tolerance range by comparing them. The results obtained in each analysis serve as a basis for concluding that the behavior of the materials of the injector elements after working with combustible mixture is optimal and viable for their application, besides complying with the lubricity parameters for an adequate system operation.

KEYWORDS:

- **DIESEL INJECTOR 6521**
- **DURABILITY OF MATERIALS**
- **MICROSTRUCTURAL ANALYSIS**
- **FUEL MIXTURE LUBRICATION**

PRESENTACIÓN

El proyecto de investigación “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” trata sobre el análisis en los materiales de fabricación de los elementos internos del inyector.

El capítulo 1, contiene el marco metodológico empleado en la investigación además de los antecedentes investigativos existentes.

El capítulo 2, detalla fuentes bibliográficas relacionadas al análisis estructural de materiales esencial para el soporte teórico, respetando normas y autoría.

El capítulo 3, describe los equipos empleados en la investigación y detalla protocolos de pruebas y mediciones establecidas.

El capítulo 4, detalla, compara y analiza los resultados obtenidos en la investigación enfocándose en los sectores que se encontró anomalías.

El capítulo 5, contiene el marco administrativo en el cual se desglosa los recursos y costos empleados para la ejecución de la investigación.

El final del documento establece las respectivas conclusiones y recomendaciones obtenidas a lo largo de la investigación, la cual contribuirá al lector como base para futuras investigaciones.

CAPÍTULO I

1. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Antecedentes investigativos

De acuerdo a lo establecido en Common Position Statement (2009), el avance tecnológico en el sistema de inyección de combustible diésel demanda parámetros de funcionamiento exigentes, razón por la cual las normas mínimas de calidad de los combustibles son esenciales para mantener la durabilidad de los elementos en contacto con éste durante un tiempo prolongado y garantizar la fiabilidad del sistema.

Streitwieser A., Almeida, Guzmán F., Játiva, Ortega B., y Aguirre (2010) afirman que el manejo de aceites lubricantes usados, es en la actualidad, un grave problema medio ambiental. Estos residuos altamente contaminantes son eliminados en ríos o quemados hacia la atmósfera sin ningún tipo de tratamiento, produciendo efectos nocivos en la salud y afectando profundamente los recursos naturales. Por esta razón, desde los años 90 países y organizaciones alrededor del mundo han incentivado la investigación de métodos de reciclaje de aceites lubricantes usados, para la producción de aceite reciclado y combustibles.

Según Rodríguez G. y Ribeiro M. (2000) la aplicación de combustibles alternativos en sistemas de inyección de motores de combustión interna es una de las opciones de fuentes de energía en la actualidad, al igual que el diésel, se debe tener precaución en las propiedades de lubricidad que estos presentan al ser éste el medio de lubricación lo cual será un indicativo que si posee un bajo nivel de lubricidad contribuirá a un desgaste prematuro de igual manera si posee un nivel alto de lubricidad se traducirá en un incremento de la vida útil de los elementos del sistema.

Internacionalmente la Common Position Statement (2009) estableció normas que definen la calidad de los combustibles, los principales parámetros necesarios para garantizar el rendimiento del equipo en su entorno de funcionamiento son: número de cetano, la viscosidad, la densidad, la

lubricidad, la estabilidad a la oxidación, el azufre y el contenido aromático junto con la ausencia de contaminación de agua.

La declaración integrada por los fabricantes de equipos de combustible diésel Delphi, Denso, Bosch, Continental y Stanadyne establecen que la lubricidad del combustible debe cumplir con el requisito de un diámetro de cicatriz de desgaste no mayor de 460 micras medida por la prueba HFRR especificada en ISO 12156-1. Si la cicatriz de desgaste es superior a las 460 micras, se espera que la vida útil de cualquier componente mecánico se vea afectada negativamente por el combustible, se puede afirmar que la lubricidad no es la adecuada para un funcionamiento garantizado.

Al aplicar una mezcla combustible en base de aceite de motor reciclado, es necesario realizar el análisis de durabilidad de los elementos del inyector Denso 6521 del sistema de inyección CRDI, debido a que las características de la mezcla combustible son diferentes en comparación a las del diésel comercial.

1.2. Planteamiento del problema

El desarrollo de sistemas de inyección en motores diésel demanda combustibles que cumplan con sus exigencias de operación. En el sector automotriz el aceite de motor usado se maneja bajo procedimientos de reciclaje, sin embargo, no se considera como alternativa de energía potencial.

Investigaciones anteriores han logrado determinar que se puede crear una mezcla combustible mediante el tratamiento del mismo, si bien es cierto, esta aplicación contribuye al cuidado del medio ambiente, sin embargo, es necesario conocer el efecto que tiene sobre los materiales de fabricación de los elementos del sistema de inyección del vehículo, los cuales deben estar dentro de los parámetros que normas internacionales establecen para garantizar el funcionamiento adecuado. El resultado positivo de la investigación fomentó nuevas investigaciones sobre mezclas combustibles a partir de otras sustancias reciclables.

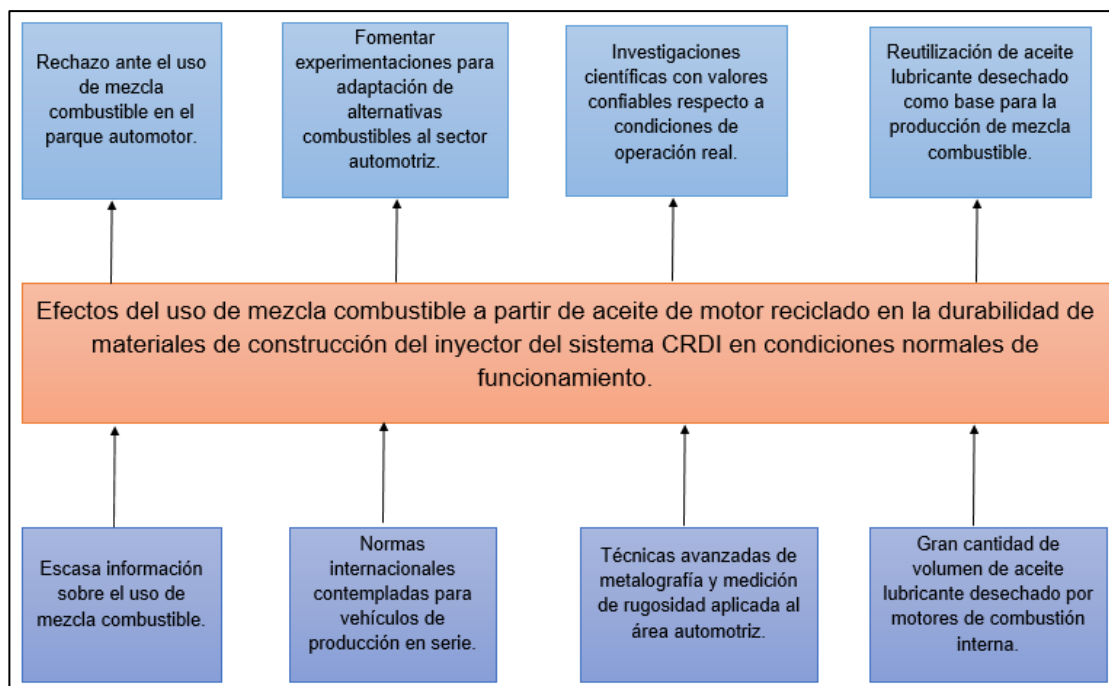


Figura 1. Diagrama de causa efecto.

1.3. Descripción resumida del proyecto

La investigación " Análisis de durabilidad de los materiales de fabricación del inyector denso 6521 del sistema de inyección CRDI al trabajar con mezcla combustible obtenido a partir del aceite de motor reciclado" contempló los siguientes puntos:

Se obtuvo la información teórica de distintas fuentes bibliográficas con su respectivo respaldo para el estudio, desarrollo y ejecución de la investigación.

Se procedió con la obtención del aceite base a partir de aceite sintético reciclado de motor gasolina en el laboratorio de química de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE extensión Latacunga, aplicando un protocolo ya establecido en investigaciones anteriores.

Se realizó la mezcla entre el aceite base y diésel No.2 con proporción volumétrica establecida en investigaciones anteriores, a este nuevo fluido lo llamamos mezcla combustible.

En la siguiente fase se procedió con la adecuación del banco de pruebas tomando en cuenta la selección de varios elementos para poder cumplir con

parámetros de funcionamiento para cuatro inyectores denso 6521, tanto en la parte mecánica como en la electrónica.

El protocolo de pruebas de funcionamiento de los inyectores usando mezcla combustible tuvo una duración de trabajo de 50, 100, 150 y 200 horas de funcionamiento respectivamente, para ello calculó el tiempo de inyección y descanso del inyector a partir de las revoluciones y el ángulo de giro del cigüeñal. La presión en el riel debe ser constante y la temperatura de la mezcla combustible no debe exceder los 35°C para evitar una alteración y garantizar en los resultados.

A continuación, se procedió a evaluar los inyectores objeto de experimentación y un inyector con cero horas de funcionamiento utilizado como patrón de comparación:

- Pruebas de parámetros de funcionamiento del inyector denso 6521: pruebas eléctricas de inductancia y resistencia a la bobina, volumen de inyección a carga completa, carga parcial, carga baja y volumen de retorno en un banco de pruebas marca zapp modelo DS2R-D del laboratorio de uso particular, empresa Garner Espinoza S.A.
- Prueba de visualización, microestructural en la aguja, agujeros de pulverización de la tobera y émbolo de mando en un microscopio invertido marca mejitechno modelo IM700 del laboratorio de ciencias de los materiales de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Matriz.
- Pruebas de rugosidad de superficies con un rugosímetro digital marca tester SRT modelo 6200 de uso particular, empresa Metrólogo medidas.
- Pesaje de elementos internos en una balanza analítica de 4 decimales de precisión marca ADAM modelo PW254 de la unidad de investigación, laboratorio de microbiología de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Matriz.

Al finalizar las pruebas se elaboró un análisis comparativo de los resultados obtenidos en los protocolos de pruebas mencionados anteriormente, para emitir conclusiones de factibilidad del uso de la mezcla combustible a partir de aceite de motor sintético reciclado en sistemas de inyección CRDI.

1.4. Justificación e importancia

Ante la demanda de combustibles que cumpla altas exigencias de operación y aporten favorablemente al comportamiento de los materiales de fabricación de los elementos del inyector CRDI, con la investigación se concluyó experimentalmente bajo un método científico una respuesta que valide la factibilidad en la producción y aplicación de combustibles alternativos a partir de aceite de motor reciclado en sistemas de inyección CRDI.

Streitwieser, Guzmán y Ortega (2010) afirman que dentro de la industria automotriz, el aceite lubricante usado también conocido como aceite quemado, es un residuo altamente contaminante, pero con un alto potencial energético cabe resaltar que mediante un proceso de refinamiento se un litro de aceite de motor usado posee un aproximado de 8000 KJ.

Para la universidad contribuyó en la vinculación con áreas investigativas, obteniendo resultados que permitan generar información pertinente para el análisis y desarrollo del conocimiento en el área de energía y ser fuentes de partida para investigaciones posteriores.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo general

Analizar la durabilidad de los materiales de fabricación del inyector Denso 6521 del sistema de inyección CRDI al trabajar con mezcla combustible obtenido a partir del aceite de motor sintético reciclado para determinar la factibilidad en su aplicación como combustible en el sistema de inyección CRDI.

1.5.2. Objetivos específicos

- Obtener la información teórica de fuentes confiables para el desarrollo y ejecución del proyecto de investigación.
- Generar la mezcla combustible, aplicando el proceso establecido en investigaciones anteriores.

- Realizar el protocolo de pruebas de durabilidad con mezcla combustible en los inyectores Denso 6521 en intervalos de 50, 100, 150 y 200 horas de funcionamiento con mezcla combustible.
- Realizar pruebas eléctricas de inductancia y resistencia a la bobina, volumen de inyección a carga completa, carga parcial, carga baja y volumen de retorno en los inyectores denso 6521.
- Visualizar la superficie de los elementos de los inyectores mediante un Microscopio Invertido.
- Verificar el estado de la superficie de los inyectores mediante valores rugosidad.
- Determinar los pesos de los elementos del inyector mediante balanza analítica.
- Analizar la durabilidad de los elementos del inyector al trabajar con mezcla combustible a partir de aceite de motor reciclado mediante comparación de medidas.
- Establecer la factibilidad del uso de mezcla combustible a partir de aceite de motor reciclado como fuente de energía alternativa.

1.6. Metas

Desarrollar una investigación relacionada con los efectos en la durabilidad de los materiales de fabricación del inyector denso 6521 del sistema de inyección CRDI para determinar la factibilidad del uso de la mezcla combustible a partir de aceite de motor reciclado en el parque automotor del país.

1.7. Hipótesis

La mezcla combustible a base de aceite de motor usado aumentará la lubricidad del combustible incrementando la vida útil del inyector denso 6521 del sistema de inyección CRDI.

1.8. Variables de investigación

1.8.1. Independiente

Análisis de durabilidad.

1.8.2. Dependiente

Mezcla combustible obtenida a partir de aceite de motor usado.

1.8.3. Operacionalización de las variables

a. Variable independiente

Tabla 1.

Operacionalización de variable independiente

Concepto	Categoría	Indicador	Ítem	Técnicas	Instrumentos
Parámetros de medición de una superficie en contacto por fricción.	Tecnológica	Corrosión	%	Observación	Prueba de laboratorio.
		Desgaste	μ	Medición	Prueba de laboratorio.
		Rugosidad	μ	Medición	Prueba de laboratorio.
		Peso	gr	Medición	Prueba de Laboratorio
Parámetros de funcionamiento del inyector	Tecnológica.	Activación	A	Medición	Prueba de laboratorio.
		Frecuencia de uso	Hz	Medición	Prueba de laboratorio.
		Tiempos de prueba	h	Medición	Prueba de laboratorio.
	Tecnológica	Presiones	Psi	Medición	Prueba de laboratorio.

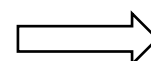
b. Variable dependiente continua

Tabla 2.

Operacionalización de variable dependiente

Concepto	Categoría	Indicador	Ítem	Técnicas	Instrumentos
----------	-----------	-----------	------	----------	--------------

CONTINÚA



Combinación de un fluido no caracterizado obtenido por medio de un proceso ya establecido y un combustible comercial existente en el mercado en proporciones volumétricas.	Tecnológica	Densidad	g/cm^3	Medición	Prueba de laboratorio.
		Punto de inflamación	$^{\circ}C$	Medición	Prueba de laboratorio.
		Viscosidad cinemática	sCt	Medición	Prueba de laboratorio.
		Índice de cetano	-	Medición	Prueba de laboratorio.
		Punto nube	$^{\circ}C$	Medición	Prueba de laboratorio.
		Azufre	%	Medición	Prueba de laboratorio.

1.9 Metodología

Las fases del Proyecto de Investigación se enmarcan dentro de dos parámetros plenamente definidos:

- Investigación aplicada
- Método científico

1.9.1 Investigación aplicada

La investigación aplicada contempla el ámbito del reciclaje en su primera fase, resolviendo un problema social y además proponiendo una solución factible para el medio ambiente.

1.9.2 El método científico

La interpretación de datos de la investigación se define como un método científico ya que se obtiene resultados contundentes en base a pruebas delimitadas por protocolos de aplicación de mezcla combustible, analizando los elementos internos del inyector y poder relacionar la durabilidad con la mezcla combustible.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Fundamentos de la inyección de combustible

De acuerdo a Alonso J. (2001) para lograr la combustión adecuada en los motores Diésel, es necesario tener una suficiente cantidad de oxígeno obtenida del aire y el combustible presurizado, el cual es inyectado dentro de la cámara de combustión, además, el aire debe ingresar finamente pulverizado y caliente, de esta manera los gases de escape contienen pocas cantidades de partículas no quemadas.

Cuando no existe una buena combustión, que puede darse por exceso de combustible en la mezcla, los gases que salen del sistema son de un color excesivamente negro, esto es perjudicial para los componentes internos del motor empezando por un calentamiento intenso que conlleva a un deterioro, fisura y hasta fractura de los elementos internos. A continuación, se presenta las condiciones esenciales para una combustión óptima:

- Inyectar el volumen exacto de combustible para lograr una mezcla estequiométrica adecuada con el oxígeno presente en el aire, según las condiciones de marcha del motor.
- El tiempo en el que se realiza la inyección es de vital importancia para que la combustión se realice en su totalidad, esto está relacionado con las condiciones de marcha del motor y el su régimen de giro.
- El combustible debe ser finamente pulverizado y sus partículas deben distribuirse de manera uniforme en todas las direcciones, esta distribución homogénea facilitara su inflamación.
- La velocidad de inyección debe ser regular en todos los agujeros, esto ayuda al diésel pulverizado a tener una buena penetración con el aire comprimido.

Es importante considerar el volumen de combustible inyectado en toda la fase de la combustión, con el único objetivo de que la presión de combustión

permanezca lo más constante posible, es decir, por cada giro del cigüeñal se debe inyectar una única cantidad de combustible ya que el pistón ya empieza su carrera desde el punto muerto superior al punto muerto inferior, cambiando constantemente el volumen de la cámara.

2.2. Fases del proceso de combustión de un motor diésel

Zapata L. (2010) Afirma.

Las dos representaciones principales para representar la evolución del proceso de inyección de un motor diésel son:

a. Tasa de inyección

Se la define como la evolución temporal de la masa de combustible inyectada por unidad de tiempo.

b. Tasa de liberación de calor

Es la energía liberada en el proceso de combustión por unidad de tiempo.

La secuencia de las fases se describe a continuación:

2.1.1. Tiempo de retraso

De acuerdo a Zapata L. (2010) esta fase empieza en el instante que inicia la inyección del combustible y termina antes del proceso de combustión, la tasa de inyección es mayor que cero. En esta etapa se produce la mezcla del aire con el combustible gracias a tres aspectos físicos propios del sistema, los cuales son: atomización del combustible líquido, evaporación del combustible atomizado y el engolamiento del aire, logrando una mezcla aire combustible que no es estable. En este instante se produce la ruptura de moléculas de combustible en cadenas de hidrocarburos más cortas hasta que se produce el autoencendido que marcará el final de esta fase, su duración depende del régimen del trabajo del motor.

2.1.2. Combustión premezclada

Zapata L. (2010) afirma que en esta fase se incrementa la temperatura, la presión y con ello la tasa de consumo de combustible, así también la liberación de energía en forma de calor, todo esto en un tiempo corto que provoca el ruido característico del motor diésel. En esta parte ya se empiezan a formar los CO_2 Y H_2O , como los productos precursores del hollín.

2.1.3. Combustión por difusión

Zapata L. (2010) establece que en esta fase la tasa de liberación de calor disminuye, debido a que el calor en esta fase está relacionado directamente por el proceso de mezcla de combustible evaporado con el aire en el interior de la cámara de combustión. La combustión en esta parte se realiza en condiciones localmente estequiométrica o muy parecidas a esta condición.

2.1.4. Combustión poro difusión tardía

Zapata L. (2010) afirma que la principal característica de esta fase es que se termina el aporte de combustible frenando así el movimiento del chorro para el proceso de mezcla y disminuyendo notablemente la tasa de liberación de calor en comparación a las fases anteriores. El fenómeno de mezcla se deja llevar por la turbulencia residual que queda en la cámara por las fases anteriores hasta consumir todo el combustible.

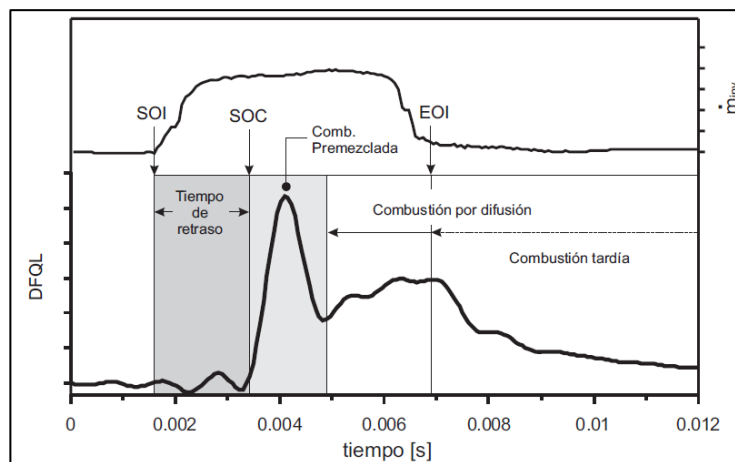


Figura 2. Diagrama de tasa de inyección y tasa de liberación de calor para motor diésel.

Fuente: (Zapata L., 2010)

2.3. Combustibles

De acuerdo a Buelva G. (1995) los combustibles pueden presentarse en tres estados: sólido, líquido y gaseosos ya sea en su estado natural o preparado de alguna manera. Entre los más representativos en estado sólidos tenemos carbón y coques que generalmente era usado en la antigüedad. En el estado líquido podemos encontrar los que más se utiliza en la actualidad, vienen del petróleo y sus derivados. Los gaseosos son producidos en base a carbón u obtenidos de las profundidades de la tierra como es el caso del gas natural.

Según Alonso J. (1997) los combustibles obtenidos específicamente para motores de combustión interna son elementos que posee una energía química interna alta que puede transformarse en calor mediante su autoencendido y terminar en trabajo mecánico produciendo el movimiento del eje motriz.

2.3.1. Combustible diésel

Vallejo E. (2015) afirma que el combustible utilizado en los motores diésel se obtiene como fracción de la destilación del petróleo bruto entre 150 y 300 °C. Esta descomposición puede volverse compleja según su calidad y su estructura molecular. Producto de dicha destilación se obtiene un aceite ligero aplicable a motores que alcanzan hasta 5000 rpm y aceite pesado, obtenido por otro método, es aplicable a motores de magnas dimensiones, pero de revoluciones bajas de 2000 rpm.

2.3.2. Propiedades de combustible diésel

Alonso J. (2001) establece que este combustible debe cumplir con las siguientes propiedades para que tenga un buen funcionamiento en combinación con el motor de combustión interna y no provoque daños en los elementos del sistema:

a. Volatilidad

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.

b. 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.

c. Viscosidad

Esta propiedad es importante para la durabilidad de los materiales, ya que indica el movimiento relativo entre sus moléculas, es decir, es la cantidad de resistencia opuesta a las fuerzas cortantes. La viscosidad debe ser baja para que la pulverización sea muy fina y pueda ser fácil de quemar.

d. Poder calorífico

Es un valor de energía propio de cada fluido, es decir, energía desprendida por unidad de combustible en una combustión. Para esto el hidrógeno y el carbono tienen una relación muy directa, ya que si posee más partículas de hidrógeno su poder calorífico es alto, por lo tanto, el consumo de combustible será menor.

e. 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.

2.4. Requisitos técnicos para diésel premium Ecuador

En el país la norma NTE INEN 1489 (2002) establece la comercialización de 3 tipos de diésel, denominados de la siguiente manera:

2.4.1. Diésel No.1

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

2.4.2. 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 3.

Requisito del diésel #2.

Requisitos	Unidad	Mínimo	Máximo	Método de ensayo
Punto de inflamación	°C	51	-	NTE INEN1493 Procedimiento A
ϕ Contenido de agua y sedimento	%	-	0,05	NTE INEN 1494
<i>W</i> Contenido de residuo carbonoso sobre el 10% del residuo de la destilación	%	-	0,15	NTE INEN 1491
<i>W</i> Contenido de cenizas	%	-	0,01	NTE INEN 1492
Temperatura de destilación del 90%	°C	-	360	NTE INEN 926
Viscosidad cinemática a 40°C	mm^2/s	2,0	5,0	NTE INEN 810
<i>W</i> Contenido de azufre	%	-	0,7	ASTM D4294
Corrosión a la lámina de cobre	Clasificación		No.3	NTE INEN 927
Índice de cetano calculado	-	45	-	NTE INEN 1495
Contenido de biodiesel, $\phi_{Biodiésel}$	%	...	5	EN 14078

NOTA: De no contener biodiesel, no es necesario de la realización de este ensayo.

Fuente: **INEN 1489, 2002**

2.4.3. Diésel premium

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

2.5. Aceite base reciclado

Payri F. y Desantes J. (2012) afirman que el impulso para el inicio de las investigaciones de alternativas de aceites base de alta calidad a partir de aceite usado se originó en los años 70 en la crisis del petróleo. Los resultados no fueron los esperados principalmente por el costo que involucraba todo el proceso, desde la recolección hasta el refinamiento, muchas plantas que fueron creadas específicamente para ello tuvieron que cerrar.

En Europa, Alemania es el líder en la recolección de aceites usado con un porcentaje del 50% de la totalidad de aceites desechados, pero no precisamente con fin económico, sino ambiental. La principal aplicación del aceite es para aplicarlo como combustible, una mínima parte es sometido a un proceso de reciclaje.

Estudios realizados afirman que los aceites reciclados pueden ser sustitutos del aceite base derivado del petróleo, siempre y cuando este sea sometido a un adecuado proceso de tratamiento para eliminar todos sus contaminantes. Si comparamos sus propiedades físicas y químicas, los aceites reciclados tienen parámetros superiores frente a la oxidación que los aceites con base refinados del petróleo, el motivo es que los compuestos oxidables que poseen ya se activaron en su primer uso y fueron eliminados en el proceso de reciclado.

2.6. Obtención de diésel No.2 a partir de aceite lubricante usado de automóviles

Según Almeida D., Játiva F. y Aguirre B. (2011) establecen que estudios mundiales se han enfocado en energías renovables que son prácticamente inagotables y de origen natural, sin embargo, existen nuevas fuentes energéticas como los desecho. Mediante la aplicación de procesos físicos o químicos, pueden ser utilizaos para la generación de energía ayudando a la

problemática del manejo adecuado y responsable de estos desechos para que contribuyan al cuidado del medio ambiente.

Si nos enfocamos en la industria automovilística el aceite lubricante que utiliza el motor, que generalmente se lo conoce como aceite quemado, es un residuo muy contaminante pero que por sus propiedades posee un gran potencial energético. Este residuo es uno de los mayores contaminantes del medio ambiente, al ser desechados en ríos o lagos, estos forman una película sobre el agua que ataca el mecanismo de respiración de los seres marítimos, además cuando se deposita en el fondo, forma una especie de brea acabando con el ecosistema marítimo.

En la actualidad, el Distrito Metropolitano de Quito controla los desechos de los aceites usados de los automóviles de su ciudad, el procedimiento que ellos utilizan es la incineración del aceite en hornos de combustión de alta temperatura, este procedimiento va en contra de los principios de reciclaje y medio ambiente, ya que se está desaprovechando el poder energético que este fluido aun contiene y puede aprovecharse y el momento de la incineración se producen gases tóxicos que contaminan la atmosfera de la ciudad.

2.6.1. Proceso de obtención de aceite base

Almeida D., Játiva F. y Aguirre B. (2010) establecen el siguiente procedimiento para la obtención del aceite base:

a. Recolección

La recolección de aceite quemado de motor se realiza en lubricadoras del entorno respecto al lugar de la investigación, la misma se realiza en recipientes que estén completamente limpios y libres de agua. En el medio existen dos tipos de aceite según su origen: sintético y mineral.

b. Preparación

Importante antes de realizar el craqueo térmico, se debe filtra el aceite para evitar impurezas que dañen los equipos de destilación. La filtración se realiza por medio de papel filtro estándar. Posterior a esto, si vemos que existe

presencia de agua en el aceite quemado, se debe calentarlo a 100 °C para extraer la misma en forma de vapor.

c. Craqueo térmico

Se trata de la destilación del hidrocarburo, este proceso posee 2 fases: en la primera una resistencia eléctrica provee de calor al balón de vidrio que contiene un volumen determinado de aceite usado, se inicia así la reacción de craqueo que consiste en el rompimiento de los enlaces de hidrocarburos.

El gas que se produce es llevado a la segunda fase, la destilación por intercambio de calor, así, los gases se condensan en el serpentín de enfriamiento y el producto es recogido en probetas graduadas. Para un volumen de 300 ml el proceso demora 45 minutos a 315° C. Este procedimiento se lo realiza 2 veces.

En investigaciones realizadas por la Universidad San Francisco de Quito por los autores ya mencionados se aplica el mismo procedimiento, sin embargo, las temperaturas y los tiempos son distintos ya que el producto no será utilizado en una mezcla-combustible, su objetivo principal es obtener directamente Diésel No.2, por ello su procedimiento demora 6 horas a 355° C repitiendo este protocolo 6 veces.

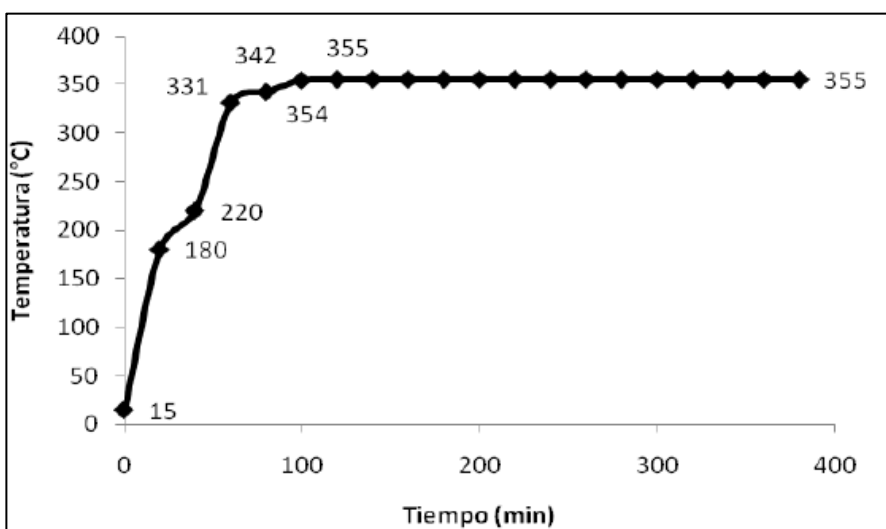


Figura 3. Temperatura de craqueo vs tiempo.

Fuente: (Almeida D., Játiva F. y Aguirre B., 2010)

d. Mezcla y caracterización

Para realizar la mezcla con diésel comercial, en investigaciones anteriores, Pabón H. y Altamirano A. (2016) afirman que el porcentaje de aceite base reciclado es del 15% y de diésel comercial es del 85%, esto fundamentado en la caracterización del fluido. Estos tributos peculiares de la mezcla-combustible se comparan con los valores que requiere el diésel No.2 según la norma NTE INEN 1489:2012.

2.7. Sistema de inyección diésel common rail

Según Bosch R. (2005) el sistema de inyección common rail se incorpora en diferentes vehículos razón por la cual el fabricante de estos determina al sistema según sus siglas para poder identificarlo de esta forma tenemos que:

- Grupo Fiat: JTD
- Renault: DCI
- Mercedes: CDI
- Grupo PSA: HDi
- Ford: TDCI
- Otros: CDTI, CRDI, DTI, I-CTDI, I-DTEC

Dentro de los principales fabricantes del sistema common rail tenemos Bosch, Siemens, Delphi y Denso, cada uno con diferencias en cuanto a parámetros de regulación de presión y accionamiento eléctrico del inyector en cuanto al accionamiento mecánico llevan el mismo principio de funcionamiento.

Según de Castro M. (2003) el motor diésel requiere de sistemas de inyección que cumplan parámetros de funcionamiento exigentes. Entre estos se tiene presiones de trabajo de aproximadamente de 1800 bar, presiones de inyección que se adapten a las condiciones de trabajo desde 200 a 1800 bar incluyendo inicios de inyección variable con características de inyecciones previas y posteriores que hacen del motor diésel eficiente.

El sistema de inyección CRDI determina parámetros de funcionamiento propios en presión e inyección a diferencia de sus antecesores sistemas

convencionales de bomba en línea y rotativa de accionamiento directo. Al generar presión de inyección de forma independiente de las revoluciones por minuto del motor y del volumen de combustible a inyectar en función de rangos de trabajo definidos.

2.7.1. Campos de aplicación

Bosch R. (2005) establece que dentro de las aplicaciones del sistema de inyección CRDI encontramos una extensa gama:

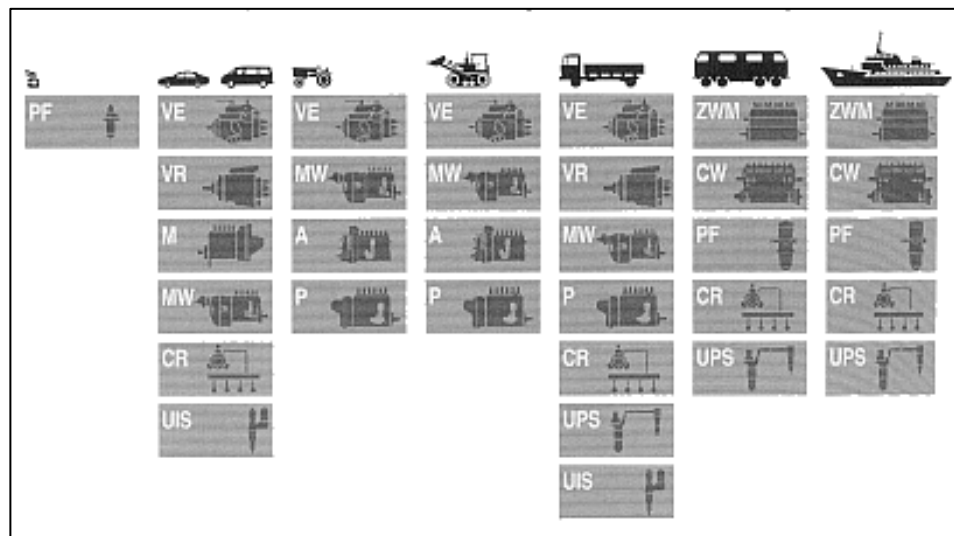


Figura 4. Campos de aplicación de los sistemas de inyección diésel.

Fuente: (Bosch R., 2005)

Tabla 4.

Vehículos de turismo common rail.

Numero de cilindros	Cilindrada (litros)	Potencia KW (CV)	Torque (Nm)
3	0.8	30 (41)	100
8	4	180 (245)	560

Fuente: (Bosch R., 2005)

a. Vehículos industriales ligeros

Con una potencia no superior a 30 KW / cilindro

b. Vehículos industriales pesados

Con una potencia no superior a 200 KW / cilindro

2.7.2. Estructura

El sistema de inyección diésel CRDI está compuesto por:

- Bomba de alta presión (1)
- Conducto común (2)
- Inyectores (3)

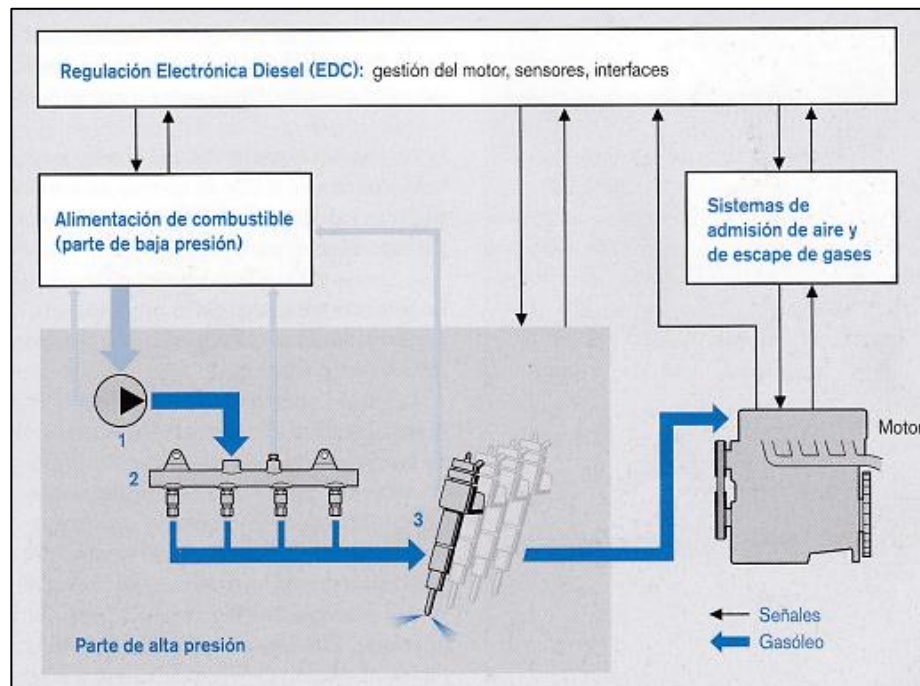


Figura 5. Sectores del sistema de la gestión del motor con sistema de inyección CRDI.

Fuente: (Bosch R., 2005)

a. Sistema de baja presión

Conformada por elementos destinados a la alimentación de combustible hacia el sistema de alta presión.

b. Sistema de alta presión

Destinada a la generación y conducción del combustible a elevadas presiones mediante la bomba de alta presión, cañerías, rail de inyectores e inyectores.

c. Sistema de regulación electrónica diésel (EDC)

Enfocada al control y monitoreo del sistema por medio de sensores y actuadores.

2.7.3. Funcionamiento

Bosch R. (2005) afirma.

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

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

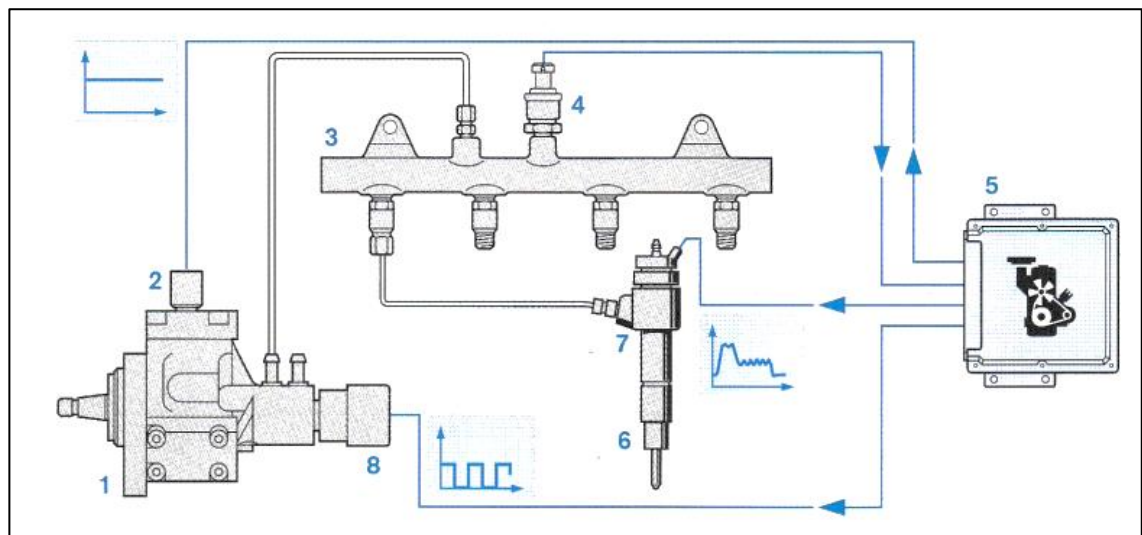


Figura 6. Componentes de activación para la inyección del sistema common rail.

Fuente: (Bosch R., 2002)

2.8. Inyector common rail con válvula electromagnética

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

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

2.8.1. Funcionamiento inyector common rail

Denso (2007) afirma que el trabajo del inyector en el sistema common rail es el de pulverizar diésel a presión en el interior del motor en el momento preciso de la inyección, la cantidad, velocidad y patrón de inyección se controla mediante señales de la ECM.

La válvula electromagnética de dos vías TWV y el orificio en el inyector denso son los encargados de controlar la inyección. La función del TWV es la de controlar la presión en la cámara de control para supervisar el inicio y el final de la inyección. Por su parte el orificio controla la velocidad de inyección mediante la restricción de la velocidad a la que se abre la tobera. El pistón de mando abre y se cierra la válvula por la transmisión de la presión de la cámara de control a la aguja de la tobera. Cuando la válvula de aguja de la tobera está abierta, la tobera atomiza el combustible y lo inyecta.

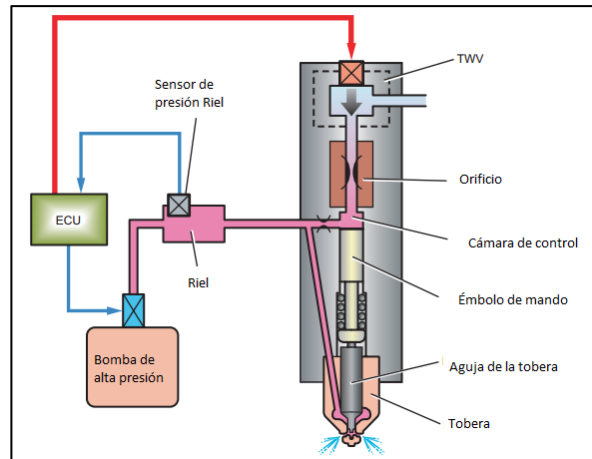


Figura 7. Estructura sistema de inyección common rail denso.

Fuente: (Denso, 2007)

Los inyectores densos common rail trabajan bajo presiones de aproximadas de 1800 bar, con una capacidad de inyección múltiple de 0,4 milisegundos por ciclo de combustión. El sistema common rail denso determina cinco inyecciones por ciclo de trabajo.

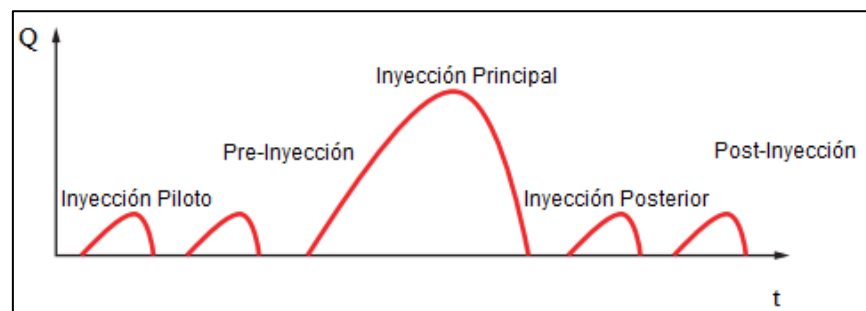


Figura 8. Modelo de accionamiento de inyector common rail denso.

Fuente: (Denso, 2007)

a. Inyección piloto

Se produce bien antes de la ignición, proporciona tiempo para que el combustible y el aire se mezclen.

b. Pre inyección

Acorta el retardo del encendido durante la inyección principal y, como resultado, reduce la generación de óxido de nitrógeno (NOx), el ruido y las vibraciones del motor.

c. Inyección principal

Proporciona el combustible para la combustión y la potencia.

d. Inyección posterior

Se produce una fracción de segundo después de la inyección principal y vuelve a quemaduras de cualquier partícula restante.

e. 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.

2.8.2. Activación del inyector common rail con válvula electromagnética

Bosch R. (2005) establece que el proceso de activación de la válvula electromagnética del inyector se divide en cinco fases en las cuales se determinará los estados de reposo e inyección:

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

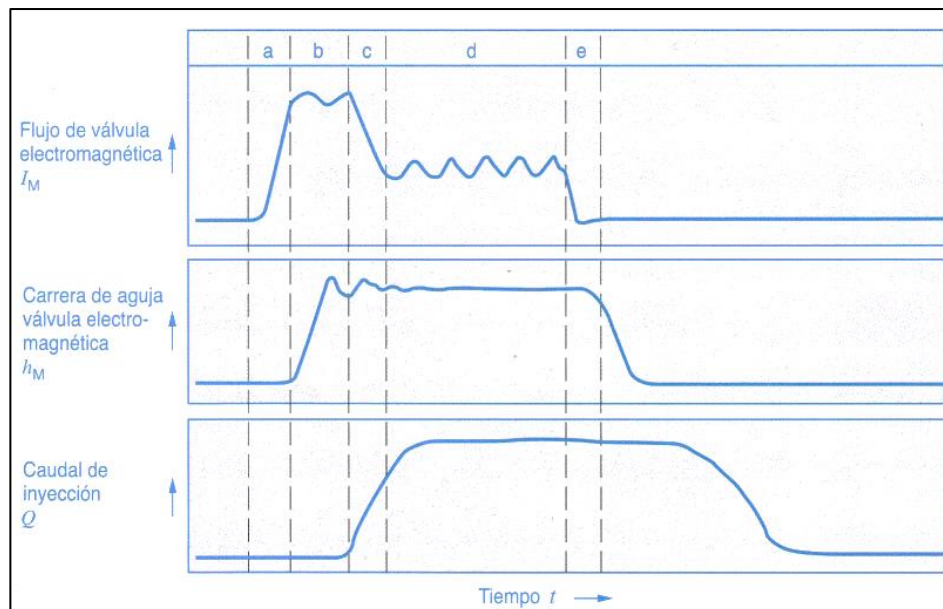


Figura 9. Secuencia de activación de la válvula electromagnética de alta presión para una inyección.

Fuente: (Bosch R., 2005)

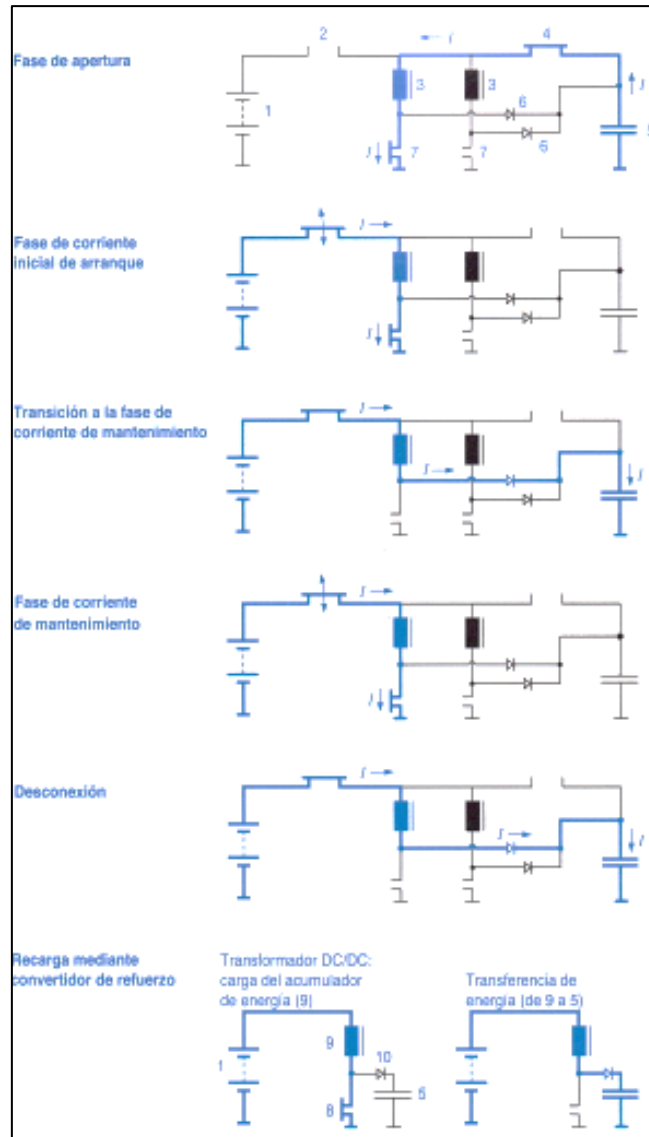


Figura 10. Circuito básico de la fase de activación en la activación common rail para un grupo de cilindros.

Fuente: (Bosch R., 2005)

a. Fase de apertura

En la fase de apertura se debe incrementar primer la corriente, con un flanco empinado exactamente definido, a aproximadamente 20 A para conseguir una reducida tolerancia y una elevada capacidad de reproducción (exactitud de la reproducción) del caudal de inyección. Esto se consigue mediante una tensión de refuerzo de hasta 50 v. Esto se genera en la unidad de control y se almacena en un condensador (acumulador de tensión de refuerzo). Aplicando esta tensión alta en la válvula electromagnética, la corriente aumenta con más rapidez que si se aplicase la tensión de la batería.

b. Fase de corriente inicial de arranque

En esta fase, la batería suministra la tensión a la válvula electromagnética. Esto contribuye a una apertura rápida; la corriente inicial de arranque se limita con una regulación de corriente de aprox. 20 A.

c. Fase de corriente de mantenimiento

En esta fase se reduce la corriente a aproximadamente es de 13 A para disminuir la potencia perdida en la unidad de control y en el inyector. Al reducir la corriente inicial de arranque hasta la corriente de mantenimiento, se libera energía, esta es conducida hacia el acumulador de tensión de refuerzo.

d. Desconexión

Al desconectar la corriente para cerrar la electroválvula también se libera energía, la cual es conducida al acumulador de tensión de refuerzo.

e. Recarga mediante convertidor de refuerzo

Esta fase se realiza mediante un convertidor de refuerzo integrado en la unidad de control. La energía consumida en la fase de apertura se recarga al comienzo de la fase de retención. Esto dura hasta que se alcanza el potencial de energía original que es necesario para la apertura de la válvula electromagnética.

2.8.3. Características constitutivas del inyector denso

Según Denso (2007) afirma que el inyector denso para el sistema common rail está compuesto de una tobera similar al conjunto tobera – aguja de los sistemas convencionales, los cuales el orificio de comunicación de combustible controla la velocidad de inyección, el émbolo de mando y la válvula TWV. La constitución es la misma para los diferentes tipos de inyectores denso.

2.8.4. Tipos de inyectores common rail denso

De acuerdo con Denso (2007) dentro de los inyectores common rail denso se encuentran tres tipos:

a. Tipo X1

El funcionamiento de este tipo de inyector lo controla el módulo electrónico. La válvula TWV comprende dos válvulas: la válvula interior (fijo) y la válvula exterior (móvil).

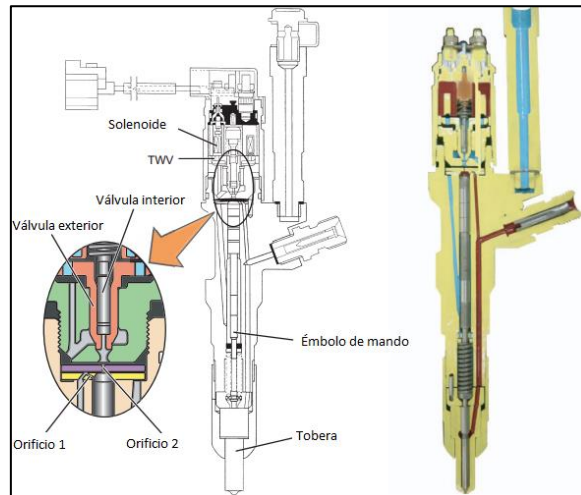


Figura 11. Inyector tipo X1.

Fuente: (Denso, 2007)

b. Tipo X2

Al disminuir la carga de accionamiento del inyector, éste es más compacto y eficiente, y la precisión de inyección ha mejorado. La válvula TWV se abre directamente y se cierra el orificio de salida.

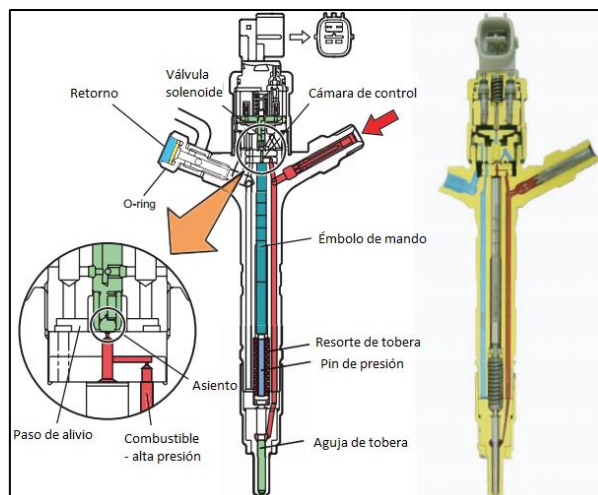


Figura 12. Inyector tipo X2.

Fuente: (Denso, 2007)

c. Tipo G2

El inyector denso G2 se enfoca en altas presiones de operación, al mejorar su capacidad de resistencia a la presión con características de desgaste mayores. Al responder ante condiciones de trabajo exigentes de inyecciones múltiples la respuesta ante velocidades altas se han mejorado.

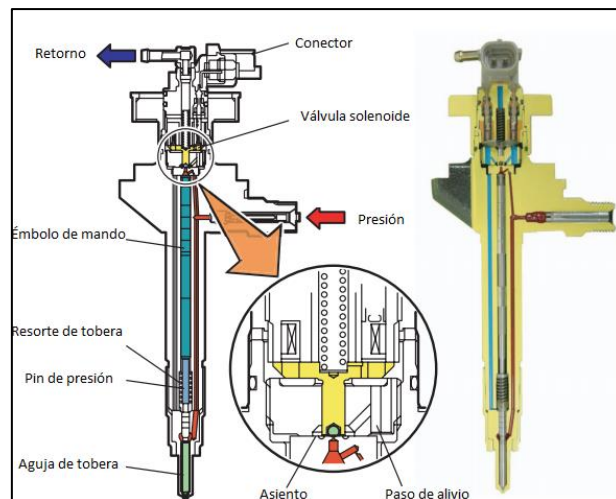


Figura 13. Inyector tipo G2.

Fuente: (Denso, 2007)

2.8.5. Características constructivas para inyectores diésel common rail

Smith W. y Hashemin J. (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

Besantes F. y Jubera M. (1985) establecen que entre 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 Besantes F. y Jubera M. (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.

2.9. Rugosidad

2.9.1. Introducción

De acuerdo con Hinojosa M. y Reyes M. (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 Tecnología Mecánica (2010) existen diversos conceptos de superficies, para su estudio es necesario definirlos con un lenguaje apropiado:

a. Superficie Ideal

Por definición una superficie perfecta, ideal sin errores.

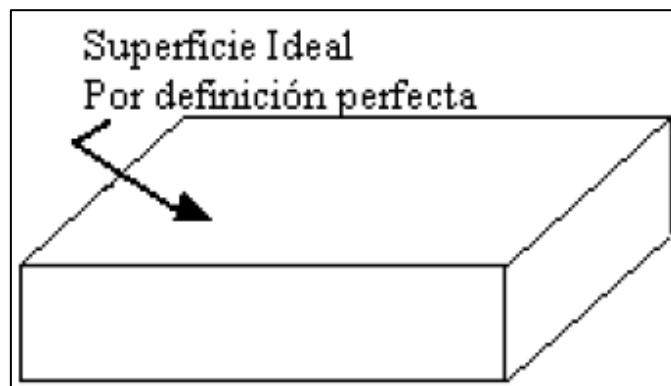


Figura 14. Superficie ideal.

Fuente: (Tecnología Mecánica, 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.

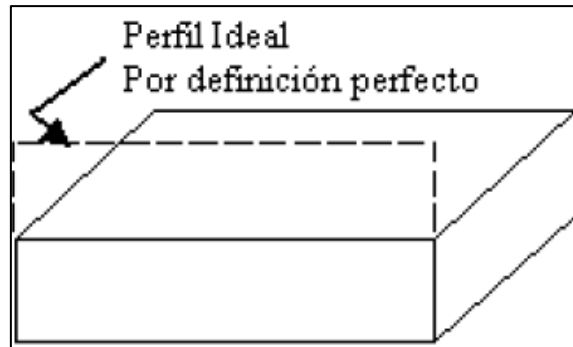


Figura 15. Perfil ideal.

Fuente: (Tecnología Mecánica, 2010)

c. Superficie real

Es la superficie frontera entre el cuerpo y el medio ambiente al que está expuesto.

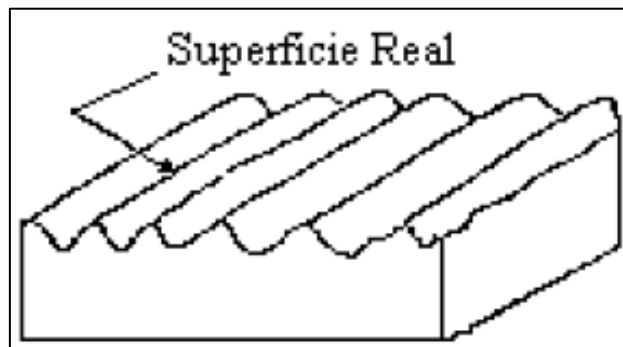


Figura 16. Superficie real.

Fuente: (Tecnología Mecánica, 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.

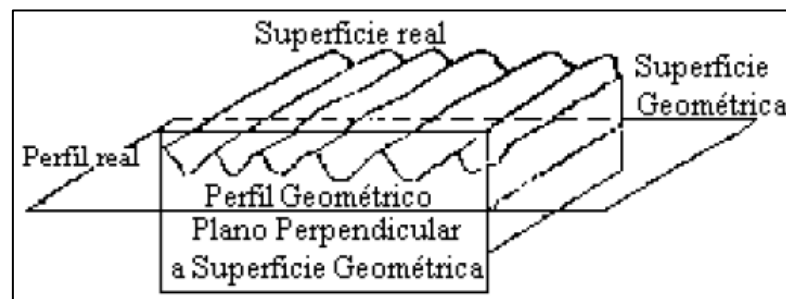


Figura 17. Perfil real.

Fuente: (Tecnología Mecánica, 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).

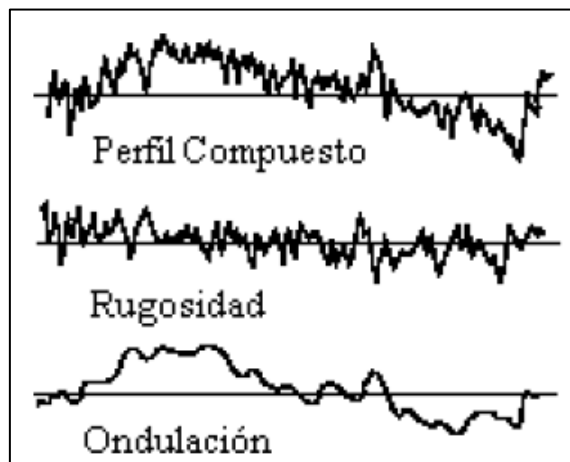


Figura 18. Perfil de rugosidad.

Fuente: (Tecnología Mecánica, 2010)

2.9.3. Parámetros de la rugosidad superficial

Auria J., Ibáñez P. y Ubieta P. (2005) establece 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 (Im)

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 (Le)

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

e. Línea de los fondos de perfil (Lf)

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

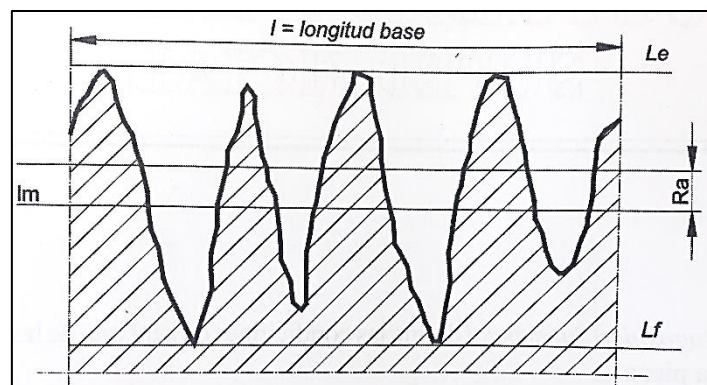


Figura 19. Valores en coordenadas de rugosidad.

Fuente: (Auria J., Ibáñez P. y Ubieta P., 2005)

2.9.4. Rugosidad media aritmética Ra

Auria J., Ibáñez P. y Ubieta P., (2005) afirman

“Desviación media aritmética de las desviaciones del perfil, tomada a lo largo de la longitud básica” (p. 45).

De acuerdo con Tecnología mecánica (2010) esta medida es conocida internacionalmente como, por ejemplo:

- CLA (Center Line Average - Inglaterra)
- AA (Aritmetical 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 (Ra) 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 5.

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: Tecnología Mecánica

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

Tabla 6.

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: Tecnología Mecánica

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

Tabla 7.

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. Superacabados 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: Tecnología Mecánica

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.

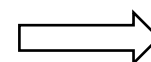
La norma DIN 4769, para una mayor facilidad de especificación y control, divide en grados los diferentes valores de Ra.

Tabla 8.

Grado de rugosidad.

Ra [μm]	Nº de Grado de Rugosidad	Descripción de la Calidad	Según el proceso de fabricación.	Según 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. Superficies libres.
25	N11			Superficies ordinarias de piezas mecanizadas, superficies de cierre conjuntas ordinarias, superficies fundidas y estampadas.
12,5	N10			Superficies de acoplamiento de partes fijas desmontables y que no requieran requisitos especiales de calidad.
6,3	N9	Las huellas de mecanización se aprecian al tacto y a la simple vista	Desbatado	Ajustes fijos, chavetas y chaveteros, ejes, agujeros y caras especiales de engranajes, superficies deslizantes poco cargadas.
3,2	N8	Las huellas de mecanización son apreciables al tacto, pero son difícilmente apreciables a simple vista.	Alisado, afinado, torneado, fresado, cepillado, limado.	Tambores para frenos, cojinetes de bronce, dientes de engranaje, superficies de partes deslizantes, superficies de ajustes precisos.
1,6	N7			Ejes para cojinetes,
0,8	N6	Las huellas de mecanización no son apreciables a simple vista.		
0,4	N5			

CONTINÚA



				excéntricas de calidad media, asientos de válvulas.
0,2	N4			Soportes, cigüeñales, árboles de levas y excéntricas, ejes para cojinetes, ejes poco lubricados, vástagos de válvula, etc.
0,1	N3	Las huellas solo son apreciables mediante la utilización de microscopio.	Superacabados.	Patrones de medida, calibres de gran precisión, piezas de micrómetros, calibres.
0,05	N2			
0,025	N1			

Fuente: Auria J., Ibáñez P. y Ubieto P.

2.10. Desgaste

Martínez F. (2011) establece que el desgaste es un factor muy importante especialmente aplicado a la Industria, se lo define como el daño superficial sufrido por cualquier material después de un tiempo determinado de trabajo afectando no solo a la superficie sino a la sub-superficie.

El desgaste es el principal causante de la pérdida de material de los elementos provocando una disminución en las dimensiones y finalmente 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, desde ese momento varios diseñadores mecánicos han desarrollado métodos experimentales con métodos sencillos de cómo evitarlo y combatirlo.

2.10.1. Desgaste abrasivo

La Norma ASTM G40-92 define el desgaste abrasivo como la pérdida de masa resultante de la interacción entre partículas o asperezas duras que son forzadas contra una superficie y se mueven a lo largo de ella.

En la figura 20 se puede observar los dos tipos de desgaste básico: desgaste abrasivo a dos cuerpos y desgaste abrasivo a tres cuerpos.

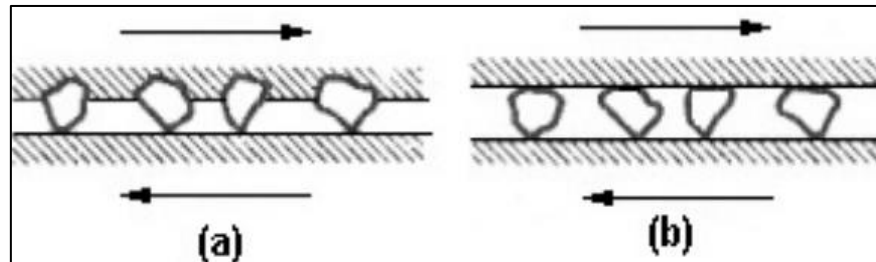


Figura 20. Tipos de desgaste abrasivo.

Fuente: (Norma ASTM G40-92)

a. A dos cuerpos

El desgaste se da por rugosidades duras que tenga como origen una de las superficies de contacto por desprendimiento excesivo de materia, por ejemplo, la penetración de un taladro en una roca.

b. A tres cuerpos

El desgaste se da por partículas duras sueltas entre las 2 superficies que están en movimiento relativo, por ejemplo, el desgaste sufrido por las mandíbulas de una trituradora al quebrar la roca o un aceite lubricante contaminado.

2.10.2. Desgaste corrosivo

De acuerdo con Díaz F. (2007) en este tipo de desgaste, las reacciones químicas o electroquímicas producidas por el medio ambiente contribuyen directamente a la velocidad del desgaste. En algunas ocasiones, las reacciones químicas ocurren primero, 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. El modelo de desgaste corrosivo es explicado en dos etapas

- En la primera etapa, sobre la superficie se forma una película de óxido, puede operar como lubricante si su grosor no es frágil.
- La segunda etapa es la remoción de la capa frágil de óxido debido a que está expuesto directamente a los fenómenos de deslizamiento del sistema.

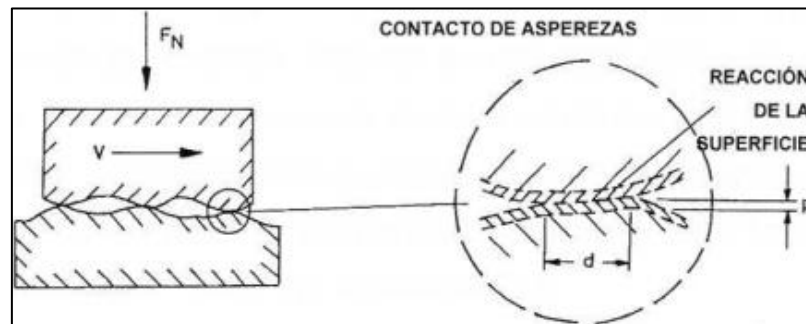


Figura 21. Desgaste corrosivo.

Fuente: (Díaz F., 2007)

Según Martínez F. (2011) en la mayoría de casos la corrosión es producida por un ataque electroquímico por la acción del medio ambiente teniendo como consecuencia la pérdida de material del elemento. En este fenómeno incluyen varios factores como la temperatura, presión, humedad, concentración entre otros, además el ataque puede darse en un medio homogéneo o heterogéneo.

a. Corrosión homogénea

El material se va desgastando por igual en toda la superficie, pero es fácil de controlar, ataca a metales expuesto a altas temperaturas porque requiere alta energía de activación, ocurre en menor grado a temperatura ambiente.

b. Corrosión heterogénea

Puede darse en cualquier ambiente, por ello es difícil de controlar, se caracteriza por la presencia de zonas anódicas y catódicas. Su desgaste no es uniforme, se hace intensa en determinadas zonas.

2.11. Norma para determinar la lubricidad NTE INEN-ISO 12156-1

La norma INEN-ISO 12156-1 (2006) establece que todos los equipos a inyección de gasóleo utilizan en cierta manera el gasóleo como lubricante. La falta de lubricidad del combustible se ha atribuido a veces al desgaste debido a la excesiva fricción, que conduce a un acortamiento de la vida útil de los componentes del motor, como las bombas de inyección y los inyectores de gasóleo.

La relación entre los resultados de ensayos de averías de componentes de equipos de inyección de gasóleo debido al desgaste se ha demostrado para algunas combinaciones de combustible/utensilios donde la lubricación en el régimen límite es un factor que influye en el funcionamiento del componente.

Esta parte de la norma ISO 12156 especifica un método de ensayo, utilizando un aparato con movimiento alternativo de alta frecuencia (HFRR), para evaluar la lubricidad de los gasóleos, incluso de aquellos que puedan contener un aditivo mejorador de la lubricidad. Es de aplicación a los combustibles utilizados en motores diésel (p.7).

2.11.1. Principio del método

De acuerdo con INEN-ISO 12156-1 (2006) en un recipiente que se mantiene a la temperatura prescrita para el ensayo, se pone una muestra del fluido sometido a ensayo. Una bola de acero se sujeta en firme en un portabolas dispuesto en vertical y, aplicando una carga, presiona sobre una placa fija de acero colocada en horizontal. La bola de ensayo se hace oscilar con una frecuencia y longitud de carrera determinadas, manteniendo la superficie de contacto con la placa, temperatura, carga aplicada, frecuencia y longitud de carrera. Las condiciones ambientales de temperatura y humedad durante el ensayo sirven para corregir a condiciones ambientales estándar el tamaño de la huella de desgaste producida en la bola de ensayo. El diámetro corregido de la huella de desgaste es una medida de la lubricidad del fluido (p.8).

2.11.2. Modelos de huella de desgaste

La INEN-ISO 12156-1 (2006) afirma que el aspecto de la huella de desgaste en la bola puede variar con el tipo de combustible, especialmente si contiene aditivos mejorados de la lubricidad. Normalmente, la huella de desgaste aparece como una serie de rasguños en la dirección del movimiento de la bola, algo mayor en la dirección X que en la dirección Y (p.16).

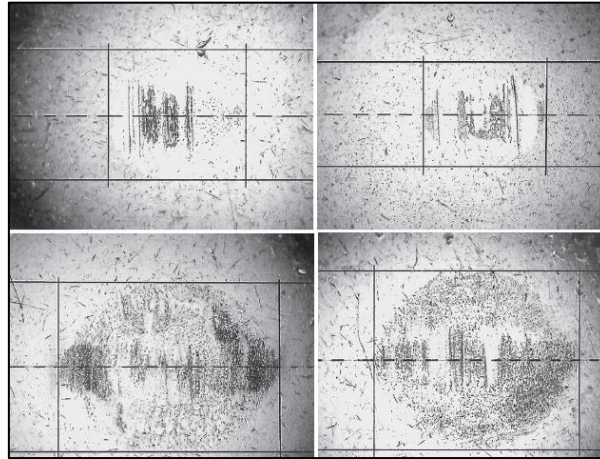


Figura 22. Ejemplo de forma de huella de desgaste.

Fuente: (INEN-ISO 12156-1, 2006)

CAPÍTULO III

3. PROTOCOLO DE PRUEBAS

Este capítulo detalla los equipos y protocolos aplicados para cumplir con el análisis de durabilidad de los materiales de fabricación del inyector denso 6521 del sistema CRDI usando mezcla-combustible obtenido a partir del aceite sintético usado de motor.

3.1. Equipos

3.1.1. Banco para comprobación de inyectores CRDI - ESPE

Salinas D, Villavicencio J. (2013) establecen que el banco específicamente diseñado para la comprobación de inyectores CRDI 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.

Para la activación electrónica de los inyectores, posee un módulo electrónico de funcionamiento y programación independiente; el módulo integrado está diseñado específicamente para cumplir con los parámetros calculados para la activación de los inyectores.

a. Características

El banco de pruebas cumple con las siguientes características:

- Controla y desempeña valores de presión característicos del sistema riel común.
- Todos los componentes mecánicos y eléctricos fueron seleccionados con cálculos previos para cumplir con estándares de operatividad, resistencia y calidad para un funcionamiento fiable.
- Didáctico y de fácil operación, además de cumplir con las normas de seguridad para el operario.

- Puede funcionar con inyectores de distintas marcas como Bosch, Delphi y Denso.



Figura 23. Banco comprobador de inyectores.

Tabla 9.

Partes banco comprobador de inyectores.

NÚMERO	PARTE
1	Panel de control
2	Porta probetas
3	Bancada
4	Manómetro
5	Bomba de alta presión
6	Acumulador de presión
7	Válvula aliviadora de presión
8	Volante de Inercia
9	Cañerías

3.1.2. Comprobador de inyectores riel común ZAPP

Según el manual del fabricante Carbon Zapp (2015) el comprobador de inyectores marca Zapp modelo D52R-A es un banco con capacidad de prueba para un inyector del sistema riel común, el fluido que realiza la pruebas debe cumplir con la norma ISO 4113 para uso de equipos de comprobación de inyectores y bombas del sistema riel común.

El volumen de inyección es controlado por tubos graduados de forma análoga, verificando si existe alguna irregularidad en caudal de entrada y salida. La evacuación del fluido luego de la prueba es automática, la graduación es cada 0,5 ml con una tolerancia de precisión de 1ml por cada 65 ml.

La duración de la prueba es de 12 minutos. Los resultados son comparativos con valores correctos de funcionamiento propios del fabricante ya que la maquina posee una base de datos de todas las marcas actualizada por internet, las pruebas que puede realizar son las siguientes:

- R2LC: Pruebas eléctricas de resistencia e inductancia aplicadas a la bobina ($k\Omega/\mu F$, $\Omega/\mu H$).
- VM: (FL, PL, EM, LL, PI) Prueba de medición de volumen inyectado en 15 pasos; a plena carga, carga parcial, emisiones, baja carga, pre y post inyección.
- VM-MTS: Prueba de medición de volumen inyectado en múltiples puntos de trabajo.
- RSP: Tiempo de respuesta del inyector.
- SPR: Prueba dinámica de aerosol realizado en todas las condiciones de las pruebas.



Figura 24. Banco comprobador de inyectores marca zapp.

Fuente: (Diesel Injection Systems, 2010)

3.1.3. Microscopio invertido Meiji techno serie IM-7000

De acuerdo con el manual de Meiji techno (2008) para verificar de una manera más exacta si existe patrones de desgaste analizando la microestructura del material en las superficies de los elementos del inyector denso 6521 se utilizó un microscopio invertido metalúrgico de marca Meiji techno modelo IM-7000.

Este tipo de microscopio además de ofrecer una posición ergonómica de sus elementos puede brindar un uso prolongado de su lámpara que proporciona luz halógena vertical que funciona con 6 voltios y 30 watts para proporcionar una excelente iluminación y contraste de las muestras.

a. Características

Las características de este microscopio metalúrgico invertido son:

- Diseño ergonómico, ahorro de espacio en la mesa de trabajo.
- Sistema óptico corregido, controles de enfoque fino.
- Revolver con 5 miras para lentes ópticos.
- Placa metálica de observación desmontable.
- Sistema de iluminación vertical halógena centrada 6 voltios/30 watts.
- Tipos de visualización binocular y trinocular.
- Punto de visión ocular alto.
- Rango de aumento de 50X a 1000X.
- Detección automática de la tensión de alimentación, con cable desmontable.
- Cámara montada en parte superior.
- Imagen derecha y correcta, alta nitidez y resolución.
- Amplia gama de filtros y Accesorios.

A continuación, se detallan sus partes:

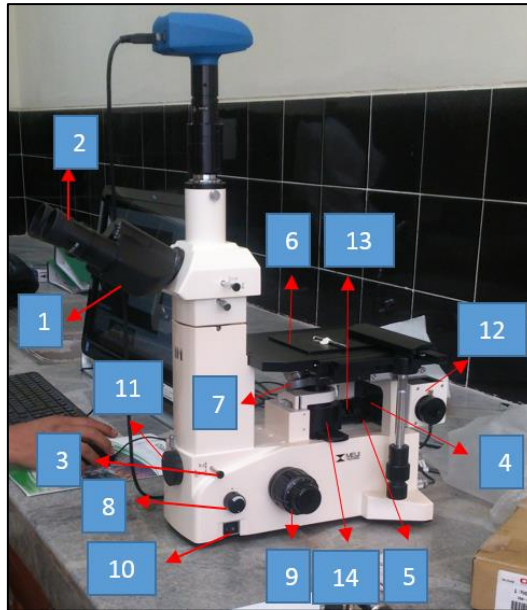


Figura 25. Microscopio IM-7000.

Tabla 10.

Partes microscopio IM_7000.

NUMERO	PARTE
1	Cabeza del binocular, 30 ^o de inclinación
2	Oculares, SWH10X
3	Divisor de haz para la cámara
4	Abertura del diafragma
5	Diafragma de campo
6	Platina
7	Revólver quintuple
8	Control de brillo variable
9	Control de enfoque, coaxial grueso y fino
10	Interruptor de alimentación
11	Puerto de cámara frontal
12	Lámpara iluminación 6V/30 Watts.
13	Ranura de filtro
14	Analizador semi-rotativo.

Fuente: Manual Microscopio IM_7000

Antes de su operación, se debe instalar correctamente todos los elementos del mismo en un lugar nivelado y que esté libre de movimientos brusco, vibraciones y golpes. La visualización está relacionada con la

iluminación, es importantes no reemplazar la bombilla de luz halógena por otra que no esté especificada por el manual del fabricante. Finalmente, si no se va a utilizar por un largo periodo, es recomendable desconectar el cable de alimentación.

Para la visualización de las microestructuras se sugiere seguir los siguientes pasos:

- Ajustar la distancia pupilar ajustando los tubos oculares, modificando su ángulo de apertura hasta que pueda adaptarse a los ojos de sujeto.
- Encender la alimentación del microscopio, ajustar el brillo con su mande de control variable.
- Colocar el espécimen en la platina, seleccionar un brillo bajo y un lente de 10X para encontrar el área de interés de la muestra más rápidamente con el movimiento de las perillas de desplazamiento de la placa.
- Use las perillas de enfoque fino y grueso para ajustar la nitidez y lograr una mejor calidad de la imagen.

Recuerde utilizar los lentes adecuados para la visualización deseada:

Tabla 11.

Medidas de aumento.

LENTE	COLOR
OCULARES 10 X	DE FÁBRICA
5 X	ROJO
10 X	AMARILLO
20 X	VERDE
100 X	CELESTE
200 X	BLANCO

Fuente: Manual microscopio IM_7000

3.1.4. Balanza analítica ADAM

Según Adam equipment company (2000) verifica que existe desprendimiento de material en los elementos del inyector denso 6521 vamos a realizar el pesaje del inyector nuevo y de los 4 inyectores después del

protocolo de trabajo para realizar una tabla comparativa. Al ser muy pequeño el desgaste, es necesario utilizar una balanza analítica de uso de laboratorio.

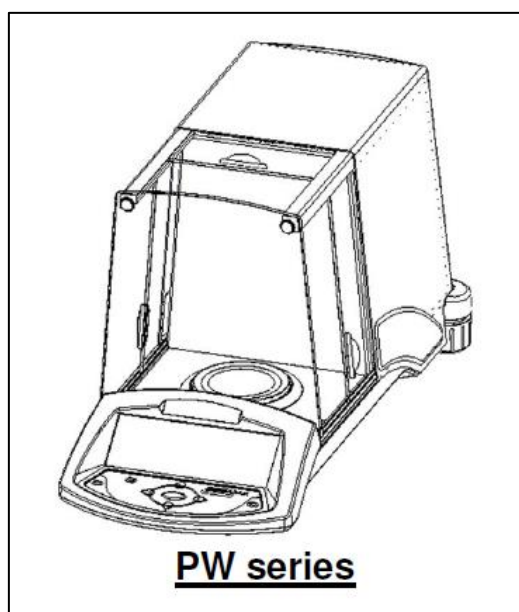


Figura 26. Balanza analítica.

Fuente: (ADAM EQUIPMENT, 2000)

Para la operación se aplican los siguientes comandos que podemos encontrar en el mando de control de la balanza:

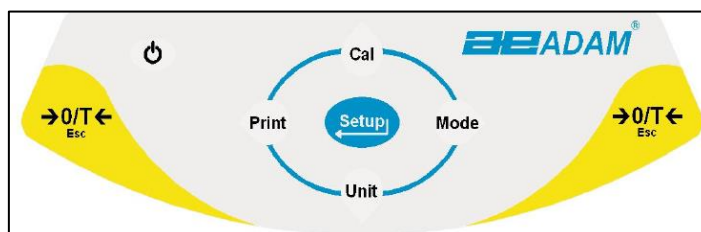



Figura 27. Panel de control balanza analítica.

Fuente: ADAM EQUIPMENT COMPANY

Tabla 12. Botones de operación.

INGRESO	FUNCIÓN PRIMARIA	FUNCIÓN SECUNDARIA
	Para activar la balanza en ON	
	Un combinado de tara y cero función	Para escapar de configuración funciones y modos

CONTINÚA 

[→0/T←] or [Esc]	Selecciona las unidades de peso por ciclismo a través de un conjunto de unidades habilitadas	Para disminuir o cambiar un valor visualizado o desplazamiento por las opciones hacia atrás
[Unit] / ↓ or [Down]	Selecciona las unidades de peso por ciclismo a través de un conjunto de unidades habilitadas	Para disminuir o cambiar un valor visualizado o desplazamiento por las opciones hacia atrás
[Mode] / → or [Advance]	Entra en los modos	Para avanzar un dígito intermitente por una posición a la derecha. Para volver un paso durante las funciones de configuración
[Print] / ← or [Back]	Indica al equilibrio para imprimir datos	Para avanzar un dígito intermitente por una posición a la izquierda
[Cal] / or ↑ [Up]	Inicia la función de calibración	Para aumentar o cambiar un valor visualizado o desplazamiento a través de las opciones de desvío
[Setup]/ ← or [Enter]	Entra en los parámetros de configuración (Supervisor de menús)	Introduce una función o ahorra mientras que un valor manualmente entrar en unidad de peso o verificar los límites de pesaje

Fuente: ADAM EQUIPMENT COMPANY

a. Características

La balanza analítica elegida para este proceso de análisis es marcar adam modelo PW254 con las siguientes características:

- Máxima capacidad de pesaje de hasta 250g.

- Legibilidad de lectura con una precisión de 0,0001g.
- Rango de tara completo, linealidad de 0,0002 g.
- Temperatura de operación de + 10°C to 40°C.
- Calibración externa o interna según las demandas del usuario.
- Tamaño de la cacerola de 90 mm ø.
- Dimensiones de alto, ancho largo 265 x 524 x 275 mm, con un peso de 12Kg.

Es importante antes de realizar algún protocolo de pesaje, calibrar el equipo, con el objetivo de que las mediciones sean exactas. Esta balanza analítica solo puede ser calibrada utilizando una masa interna (por defecto método) o una masa externa (si la instalación por parte del usuario).

Para la calibración manual con masa interna se debe seguir los siguientes pasos:

- Comprobar que la pantalla esté en cero. Tare si es necesario
- La calibración se iniciará automáticamente.

3.1.5. Rugosímetro tester SRT-6200

El instrumento mide la rugosidad de la superficie (acabado superficial)

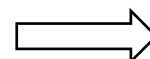
Características técnicas

Tabla 13.

Características técnicas.

EQUIPO	MARCA	SERIE	MODELO	CARACTERISTICAS
Rugosímetro digital compatible con normas ISO,DIN,ANSI Y JIS	TESTER SRT-6200	N628306	6200	<ul style="list-style-type: none"> • Pantalla: 10 mm LCD con retroiluminación azul • Longitud de corte (CUT OFF) 0.25mm /0.8 mm /2.5mm/0.08mm. • Parámetros: Ra, Rt. • Batería: Recargable de litio- ion incorporada 4X1.5AAA • Apagado: Manual y Automático • Unidades: μm / μin (seleccionable)

CONTINÚA



Referencia patrón de rugosidad	TESTER SRT-6200	N628307	S/R	Patrón de vidrio 1.64 (μm)
PALPADOR	TESTER SRT-6200	30441	S/R	<ul style="list-style-type: none"> • Radio del palpador: 10(μm) • Material del palpador: Diamante • Fuerza de medición del palpador: 4mN (0.4 gf.) • Angulo del palpador: 90° • Velocidad de palpación 0,135 mm/s con una longitud de onda límite: 0,25 mm • Velocidad de palpación 0,5 mm/s con una longitud de onda límite: 0,8 mm • Velocidad de palpación 1 mm/s con una longitud de onda límite: 2,5 mm • Velocidad de retroceso 1 mm/s

Fuente: (Tayupanta, 2016)

3.1.6. Módulo de activación de inyectores

Es el encargado de dar los pulsos de activación para cada inyector en función de las rpm a las cuales gira el motor y el ángulo de giro del cigüeñal.

Su alimentación es de 12 voltios AC la cual mediante un circuito de potencia eleva el voltaje en aproximadamente 50 voltios necesarios para la activación de la electroválvula del inyector.



Figura 28. Circuito de módulo de activación de inyectores.

Fuente. (Acuña y Morales, 2016)

a. Características

El módulo de activación de inyectores CDRI empleado posee varias opciones de configuración de funcionamiento:

- Tiempo de inyección.
- Tiempo de descanso.
- Orden de encendido.
- On/Off inyectores.
- Tiempo de trabajo del módulo.

3.1.7. Equipo de seguridad industrial

El equipo de seguridad industrial es obligatorio al ingresar al laboratorio de química de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE extensión Latacunga, previo al proceso de obtención.

Este equipo está formado por:

- Guantes G80 de nitrilo resistentes a químicos ideales.
- Guantes resistentes a altas temperaturas hechos a base de aramida.
- Gafas protectoras.
- Mandil.
- Mascarilla con filtro para vapores orgánicos y gases ácidos 9-243.



Figura 29. Equipo de seguridad laboratorio de química.

3.2. Obtención de mezcla-combustible

3.2.1. Recolección del aceite lubricante sintético usado de motor

El lubricante usado en la investigación es un aceite de motor a gasolina de origen sintético, el cual cumplió con 5000 Km de recorrido, el mismo se recolectó en lubricadoras de la ciudad de Latacunga en recipientes libre de impurezas.



Figura 30. Aceite de motor usado.

3.2.2. Filtración del aceite lubricante sintético usado de motor

Previo a la destilación, se separó todo tipo de impurezas que poseía el aceite lubricante sintético usado de motor mediante un proceso de separación con filtros de uso industrial de 125 y 190 micrones, para el efecto se alternó 3 filtros de cada tipo para lograr resultados efectivos.



Figura 31. Filtros de malla.

La manipulación de aceite se debe realizar bajo las medidas de seguridad correspondientes, por tal motivo se utilizó guantes de protección G80 de nitrilo resistentes a químicos acordes al proceso realizado.



Figura 32. Filtración de aceite.

3.2.3. Primera destilación

El proceso de destilación inició con el armado del equipo, considerando que este se someterá a altas temperaturas por este motivo se debe ensamblar en un espacio adecuado específico para esta actividad aplicando las normas establecidas en el laboratorio. El equipo consta de:

- Pedestal.
- Pinzas de sujeción.
- Mechero de bunsen.
- Balón volumétrico.
- Probeta.
- Termómetro 320 °C.
- Cabeza de destilación.
- Mangueras.
- Condensador.
- Corcho.



Figura 33. Equipo de destilación simple.

Con un vaso precipitado, se vertió 300 ml de aceite lubricante sintético usado de motor dentro del balón volumétrico, posterior se encendió el mechero de 5 a 10 minutos para que alcance la temperatura de 100 °C con el fin de eliminar cualquier residuo de agua en el aceite.

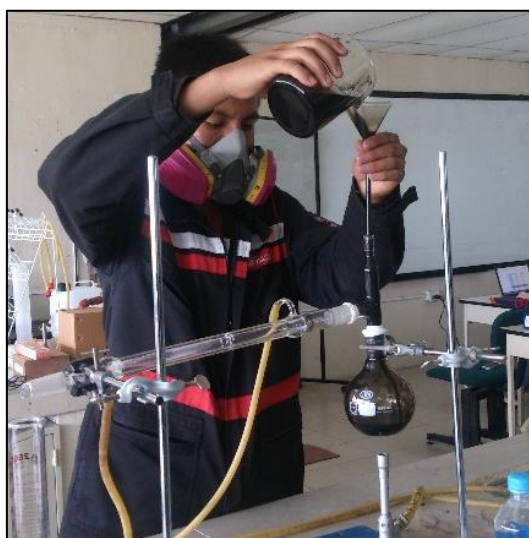


Figura 34. Proceso de llenado de balón volumétrico.

Al estar el aceite libre de partículas de agua, para empezar la destilación, se incrustó el termómetro en medio del corcho y se colocó sobre cabeza de destilación para hermetizar el sistema, seguido abrió la válvula para el paso de agua al condensador, el aceite destilado caerá en la probeta graduada al final del circuito. Se debe controlar la temperatura de destilación y llevar un registro.



Figura 35. Proceso de destilación simple.

El proceso se llevó a cabo con dos equipos de destilación con el fin de alcanzar el mayor volumen en el menor tiempo posible.

Tabla 14.

Hoja de registro primera destilación

Día de trabajo	Equipos de trabajo	Horas de trabajo	Volumen inicial (ml)	Volumen final (ml)
31/03/2016	2	8:47:00	2700	1889
04/04/2016	2	3:17:00	5100	3852
05/04/2016	2	1:13:00	4800	2814

Al poseer un volumen de 12600 ml de aceite lubricante sintético usado de motor se obtuvo 8555 ml de aceite base en primera destilación.

3.2.4. Segunda destilación

Para realizar la segunda destilación, es importante la limpieza de los equipos para evitar cualquier residuo producido en la primera destilación. Se realizó el mismo procedimiento con su registro de trabajo respectivo.

Tabla 15.

Hoja de registro segunda destilación

Día de trabajo	Equipo de trabajo	Horas de trabajo	Volumen inicial (ml)	Volumen final (ml)
06/04/2016	2	7:49:00	4500	3532
07/04/2016	2	6:20:00	4040	3206

De un volumen total de 8540 ml de aceite base primera destilación se obtuvo 6738 ml de aceite base de segunda destilación.

3.2.5. Preparación mezcla-combustible

Con fundamentos en la investigación realizada en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE extensión Latacunga por parte de los señores Henry Pabón y Alex Altamirano (2016), se concluye que el porcentaje de mezcla idóneo es de 15% de aceite base y 85% diésel 2, el fluido obtenido se llama *Mezcla-Combustible*.

Para la mezcla, es necesario que se filtre el aceite base con ayuda de papel filtro cualitativo estándar con una porosidad entre 5 a 11 μm , la mezcla fue medida con exactitud aplicando un vaso precipitado de 250 ml.

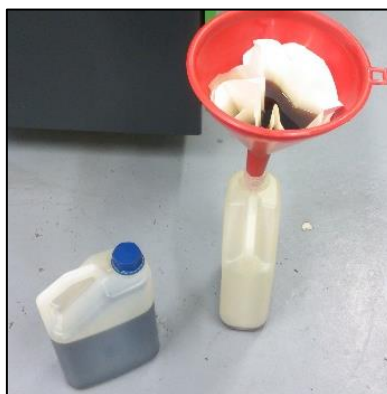


Figura 36. Filtración aceite base con papel filtro.

Para la aplicación de la mezcla-combustible en el banco de pruebas de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE extensión Latacunga, laboratorio de motores, es necesario 25000 ml para su funcionamiento adecuado, por esta razón, se utilizó la siguiente cantidad de mezcla:



Figura 37. Medición volumétrica aceite base.

Tabla 16.

Porcentajes constitutivo de mezcla combustible.

Mezcla combustible	Temperatura (°C)	Porcentaje (%)	Cantidad (ml)
Aceite base	19	15	3750
Diésel 2	19	85	21250

3.3. Protocolo de pruebas 50, 100, 150 y 200 horas aplicando mezcla-combustible

3.3.1. Elección del tiempo de duración de la prueba

Para una sustentación en base al tiempo de duración de la prueba se analizó información relacionada en las cuales se detalla el tiempo en el cual la prueba se asemejaría a kilómetros de recorrido en función del tiempo así tenemos:

Según investigaciones de Pérez (2005), afirma 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 en cuenta esta investigación se consideró que el tiempo apropiado para el desarrollo de la prueba es de 200 horas, sin embargo, se analizó en intervalos de 50 horas para tener un rango de confiabilidad de los resultados alto.

3.3.2. Adecuación de banco de pruebas comprobador de inyectores CRDI - ESPE

Antes de iniciar las pruebas en los inyectores aplicando la mezcla-combustible es necesario adecuar el sistema simular un estado de funcionamiento real. Se inició con la limpieza general y montaje de elementos nuevos, esta se dio en los conductos de alimentación y retorno, además de una inspección minuciosa del estado del filtro de combustible.



Figura 38. Inspección de filtro de combustible diésel.

Para evitar que la mezcla-combustible exceda los 35°C se instaló un intercambiador de calor, además se mantuvo el control periódico de la temperatura de la mezcla con la ayuda de termómetro de mercurio.

La mezcla-combustible no fue combustionada, el objetivo es mantenerla en recirculación constante a una presión determinada, los inyectores realizaran la pulverización dentro de un recipiente con el fin de evitar pérdidas de fluido por esparcimiento y tener un control visual de inyección.



Figura 39. Recipiente mezcla combustible.

Para la activación de los inyectores, se utilizó un módulo de control electrónico diseñado específicamente para esta investigación, este módulo es alimentado con una fuente de 12 voltios a 5 amperios y puede controlar los siguientes parámetros:

- Tiempo de inyección.
- Tiempo de descanso.
- Orden de encendido.
- Inyector on/off.
- Tiempo de trabajo.



Figura 40. Módulo de activación de inyectores.

Finalmente se instaló las cañerías de alta presión desde el riel hasta los inyectores y los conductos de retorno en cada uno para iniciar las pruebas.



Figura 41. Ensamblaje de sistema common rail.

3.3.3. Calibración de presión con sensor FRP

La veracidad de la investigación radica en mantener parámetros de funcionamiento continuos tales como presión de inyección, tiempo de

inyección, tiempo de descanso, temperatura de la mezcla-combustible y revoluciones por minuto de la bomba de alta presión.

El banco comprobador de inyectores CDRI adecuado para la investigación posee un sensor de presión de riel de tipo piezoeléctrico, alimentado con 5 voltios para procesar y enviar un voltaje de Señal que varía entre 0,5 a 4,5 voltios según sea la presión.



Figura 42. Sensor de presión de riel FRP.

Los voltajes proporcionados por el sensor de presión de riel se validarán en función del rpm de la bomba de alta presión y un manómetro de glicerina.



Figura 43. Activación sensor de presión de riel.

En función de las pruebas de funcionamiento el sensor de presión de riel marca Bosch a una presión de 0 psi corresponde un valor de 0,51 voltios y para una presión en el riel de 27000 psi corresponde valor de 4,79 voltios.



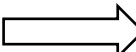
Figura 44. Voltajes de operación sensor de presión de riel.

La curva que se generó por parte del sensor de presión FRP se corrobora de forma práctica y se llega a la conclusión que es directamente proporcional el voltaje a la presión generada por la bomba de alta presión.

Tabla 17.

Operación sensor FRP

Frecuencia [Hz]	Presión [psi]	Voltaje [v]
0	0	0,51
1,3	1000	0,73
1,7	2000	0,93
2,9	3000	1,07
4,4	4000	1,23
5,8	5000	1,39
6,9	6000	1,53
7,9	7000	1,7
8,6	8000	1,86
9,4	9000	2,02
10	10000	2,17
10,9	11000	2,35
11,4	12000	2,51
12,3	13000	2,68
13,2	14000	2,82
14	15000	3,03
14,4	16000	3,12
15,3	17000	3,27
16,6	18000	3,46

CONTINÚA 

18,1	19000	3,65
20	20000	3,74
28	21000	3,9
42	22000	4,12
46	25000	4,45
47	27000	4,79

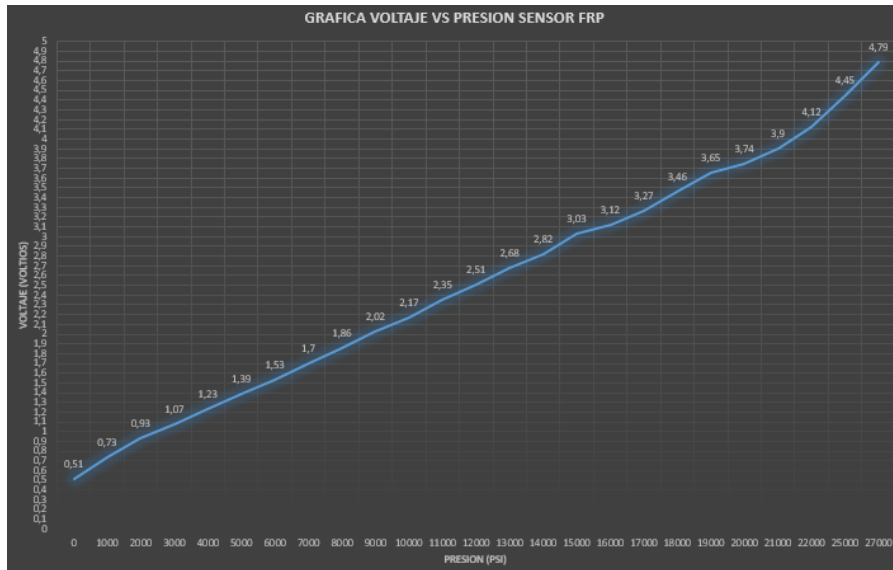


Figura 45. Curva sensor FRP banco de pruebas.

3.3.4. Inicio de prueba de aplicación de mezcla-combustible

Para empezar la prueba se realizó el montaje de los inyectores y la especificación de las series de cada uno según las 50, 100, 150 y 200 horas de trabajo a cumplir. Además, se realizó la programación del módulo de control electrónico para la activación de los inyectores.

Tabla 18.



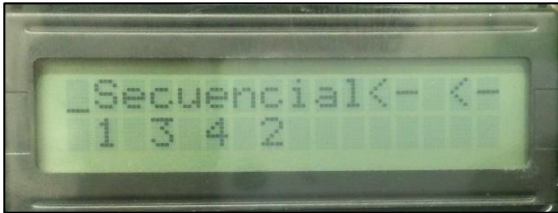


Serie inyector denso 6521.

INYECTOR	SERIE CUERPO INYECTOR
Número 1 (50 horas de trabajo)	06S00471
Número 2 (100 horas de trabajo)	06S00171
Número 3 (150 horas de trabajo)	04S00008
Número 4 (200 horas de trabajo)	04S00435

En la investigación realizada por Santiago Acuña y Santiago Morales establecen parámetros de funcionamiento para el módulo electrónico de inyección fundamentando en cálculos previos en función de las revoluciones por minuto que da la bomba de inyección de alta presión y el ángulo de giro del cigüeñal.

Tabla 19.

Configuración módulo de activación inyectores.

OPCIÓN	VALOR
	1, 43 ms
	9,29 ms
	1-3-4-2
	<p>Para iniciar todos los inyectores encendidos.</p> <p>Se apagan los inyectores conforme avanza la prueba.</p>
	<p>Tiempo diario de trabajo en el banco de pruebas. Se recomienda trabajar 10 horas diarias.</p>

Después de realizar la programación del módulo de control electrónico, se energizó el banco de pruebas con su conector de 220 voltios, posterior se activó el breaker del variador de frecuencia.

En base a parámetros de funcionamiento establecidos en investigaciones anteriores el régimen de giro de la bomba de alta presión es de 5 Hz que corresponde a 300 rpm.



Figura 46. Módulo de activación bomba de alta presión.

Si bien es cierto los cálculos para la programación del módulo fueron realizados con 2800 rpm, pero al simular esta velocidad rotativa en el banco la mezcla-combustible eleva su temperatura sobre los 35° C y esto no cumple con las especificaciones que establece la norma para pruebas con mezcla-combustible. Además, es importante mantener la misma presión en el riel durante toda la prueba, este valor es de 3500 psi.



Figura 47. Manómetro de presión hidráulica lleno de glicerina.

El módulo de activación de inyectores es un sistema independiente, por ello, primero se ejecutó el módulo de activación, seleccionar el sentido de giro y encender la bomba de alta presión. Para detener el sistema primero se desactivó el funcionamiento de la bomba de alta presión y después el módulo de activación de los inyectores.

3.3.5. Protocolo de extracción de los inyectores 50, 100, 150 y 200 horas respectivamente

Para extraer los inyectores se debe cumplir con las horas de trabajo establecidas para cada uno, es decir, 50, 100, 150 y 200 horas respectivamente. El protocolo es el mismo para cada uno, y se debe contemplar el siguiente procedimiento.

Se apagó el banco comprobador de inyectores, luego retirar el socket que lleva la señal desde el módulo de activación hasta el inyector.



Figura 48. Remoción del socket del inyector.

Se aflojó el perno del retorno de combustible para retirar el conducto del mismo. Se debe tener precaución para no aislar este elemento.



Figura 49. Extracción del conducto de retorno de diésel.

Se retiró el inyector junto con la cañería, posteriormente aflojarla. Se debe colocar los protectores plásticos de fábrica en la tobera y en el orificio de entrada de combustible, guardarlos en los empaques originales para evitar algún tipo de contaminación externa que pueda causar desgaste en estos elementos.



Figura 50. Extracción conducto de alta presión.

Finalmente colocó un tapón en el riel donde estaba la cañería junto con el inyector, antes de continuar con el experimento se debe regular la presión en el sistema para mantener una presión constante en toda la prueba.



Figura 51. Bloqueo de salida de inyector extraído.

Para encender nuevamente el banco de pruebas y continuar con la experimentación es necesario desactivar la señal de activación para el inyector que ha sido extraído, modificando la programación del módulo de control.

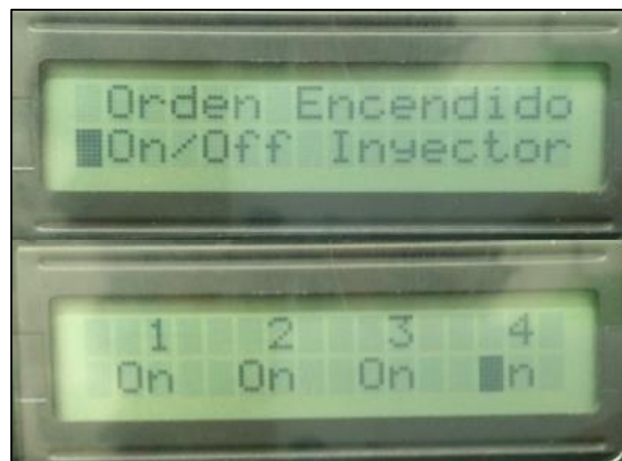


Figura 52. Desactivación de pulso de activación del inyector.

3.4. Comprobación de estado de inyectores con máquina ZAPP

Los inyectores después de trabajar con mezcla combustible fueron sometidos a pruebas estándar para comprobar su funcionamiento adecuado establecido por el fabricante. Las pruebas se realizaron por un equipo

automatizado comprobador de inyectores CDRI marca zapp modelo D52-RA siguiendo una secuencia establecida por el laboratorio.



Figura 53. Equipo comprobador de inyectores common rail.

La prueba en cada inyector tiene una duración aproximada de 15 minutos, y antes de empezar se debe regular la presión según la prueba.

El informe de funcionamiento emitido por la máquina se basa en patrones comparativos entre valores proporcionados por el fabricante y datos propios del inyector sometido a la prueba.



Figura 54. Proceso de pruebas.

3.5. Protocolo de visualización de microestructuras

La verificación de la microestructura de la superficie confirma si existe un patrón de desgaste de los elementos al utilizar mezcla-combustible, se llega a esta conclusión al comparar la imagen de la microestructura de un elemento de un inyector nuevo con el mismo elemento de un inyector usado.

Los inyectores que usan diésel comercial también están expuestos a sufrir desgaste, sin embargo, este no debe ser exagerado y debe presentarse después de varias horas de trabajo en distintas condiciones, caso contrario el elemento no cumple con las garantías establecidas por el fabricante.

3.5.1. Preparación de los elementos a visualizar

La investigación está centrada en tres elementos principales que trabajan en ambientes de contacto distinto, ya sea entre roce de materiales o superficies libres de rozamiento, pero en contacto directo a la mezcla-combustible.

Los elementos a visualizar son:

- Émbolo de mando en 5 puntos de contacto.



Figura 55. Sectores de análisis émbolo de mando.

- Aguja en 2 puntos de contacto.

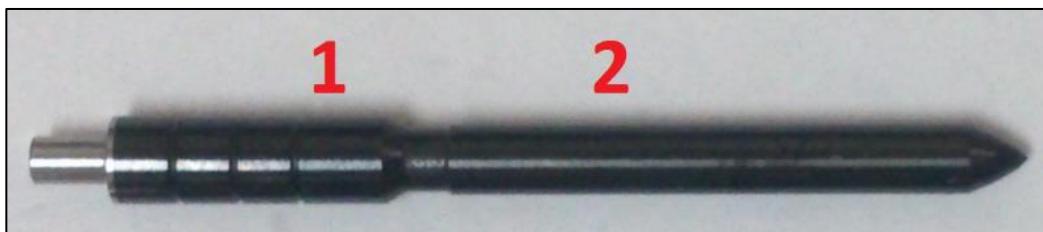


Figura 56. Sectores de análisis punta del inyector.

- Contorno de agujero de pulverización de la tobera.

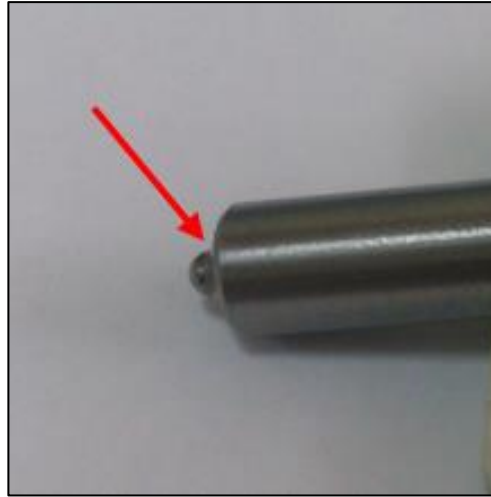


Figura 57. Sector de análisis tobera (orificios).

Para extraer los elementos de estudio se desarmó el inyector aplicando la herramienta adecuada, además es importante conservar los protectores plásticos de fábrica para la tobera y la entrada de combustible.

Es indispensable usar guantes esterilizados para manipular los elementos con el fin de evitar el contacto directo y la contaminación de las superficies.



Figura 58. Proceso de desarmado de la tobera.

Después de extraer los elementos es necesario secar las superficies para que los restos de mezcla-combustible no interfieran con la visualización de su microestructura, colocar los elementos sobre una superficie suave.



Figura 59. Elementos de análisis.

3.5.2. Verificación de microscopio marca Meiji modelo 7000

Antes de iniciar con la visualización de la microestructura de las superficies se verificó el estado y funcionamiento de los elementos del microscopio y la conexión de la cámara al computador para extraer las imágenes de forma digital.

Se revisó que la platina se mueva en sus 3 ejes (X, Y, Z), verificar que tanto la intensidad de la lámpara como la perilla de control de brillo variable se encuentren en perfecto estado y finalmente el estado y limpieza de los lentes oculares y los lentes en el revolver quíntuple.

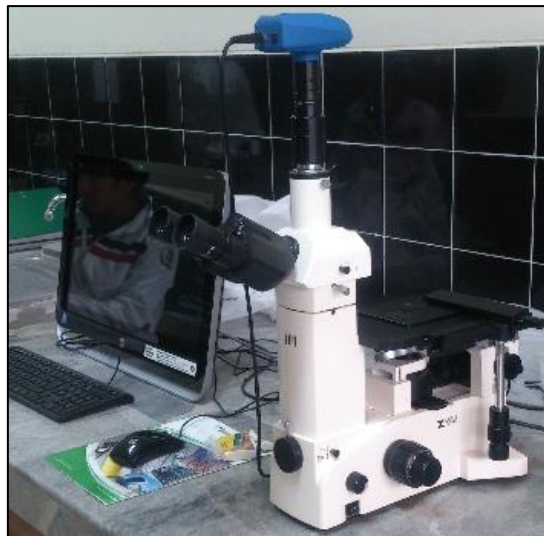


Figura 60. Operación microscopio Meiji-700.

3.5.3. Visualización de microestructuras

Antes de colocar el elemento en la platina de visualización se realizó una inspección superficial minuciosa para identificar lugares de desgaste excesivos y priorizar el análisis en ese punto.



Figura 61. Soporte lente de aumento.

Identificados los puntos de visualización, se colocó el elemento sobre la platina y sujetarlo con plastilina para evitar movimiento durante la prueba.



Figura 62. Elementos sobre platina.

Los lentes oculares tienen un aumento de 10X de fábrica, a esto se debe multiplicar el valor de aumento del lente seleccionado en el revolver quíntuple para conocer el valor de aumento real de la prueba de visualización, los lentes en el revólver son:

Tabla 20.

Lentes de aumento microscopio.

AUMENTO	COLOR DE IDENTIFICACIÓN
5X	Rojo
10X	Amarillo
20X	Verde
50X	Celeste
100X	Blanco

Los lentes que se debe utilizar en todas las pruebas son de 10X y 20X de aumento que multiplicado con el valor de aumento de los lentes oculares tenemos un total de 100X y 200X de aumento respectivamente.



Figura 63. Lente de aumento.

Encender la lámpara, ajustar el brillo y visualizar la microestructura, para mejorar su nitidez se regula el control de enfoque con la perilla coaxial con regulación fina y gruesa.



Figura 64. Visualización de microestructura en computador.

La visualización digital es en tiempo real, la nitidez de la imagen depende de la intensidad de la luz de la lámpara y de la regulación del enfoque.



Figura 65. Retoque de imagen.

El microscopio invertido únicamente realiza enfoques a superficie paralelas a la platina, es decir en el eje horizontal, por tal motivo, para visualizar los agujeros de pulverización de la tobera es necesario realizar un molde para lograr una inclinación y posición adecuada al lente.



Figura 66. Molde de descanso para porta tobera.

Finalmente se realizó la digitalización de las imágenes guardando con extensión .bmp para análisis posteriores.

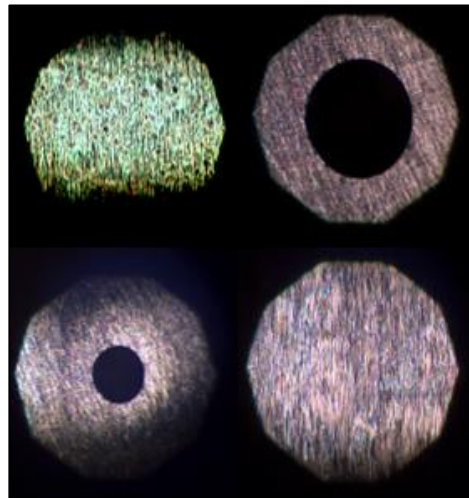


Figura 67. Visualización micro estructural de elementos del inyector.

3.6. Protocolo de medición de rugosidad de las superficies

3.6.1. Preparación de las superficies de los elementos

Se limpió y secó las superficies para que los restos de mezcla-combustible no interfieran con la medición de la rugosidad, colocar los elementos sobre una superficie suave.

3.6.2. Calibración del equipo

Antes de iniciar con las mediciones se verificó que el rugosímetro este calibrado, este procedimiento se lo realiza con el patrón de vidrio del equipo que tiene una medida de referencia de $1.64 \mu\text{m}$ de rugosidad R_a , con una precisión clase 2, según la norma DIN 4772 ($> \pm 10 \%$), se obtiene una medida de $1.64 \mu\text{m}$, el equipo de rugosidad se encuentra calibrado.



Figura 68. Rugosímetro y placa de calibración.

Para la medición de rugosidad se graduó el rugosímetro de acuerdo a la velocidad de desplazamiento o cutoff, debido a que las muestras de las piezas molares, no son completamente rectas, tiene sus deformaciones se ha escogido la velocidad de palpación $0,135 \text{ mm/s}$ con una longitud de onda límite: $0,25 \text{ mm}$.

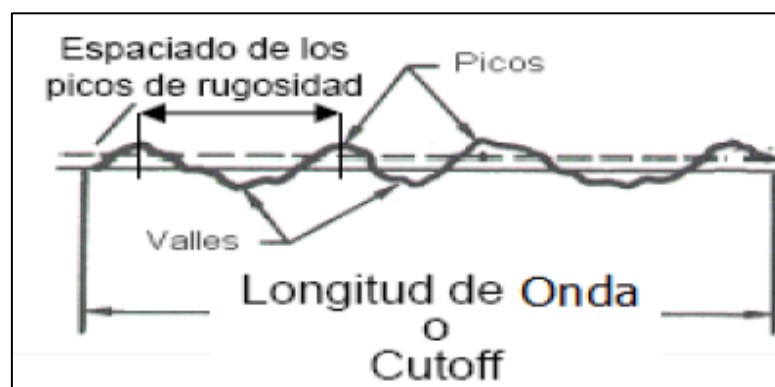


Figura 69. Parámetros de calibración.

Fuente: (Informe Rugosidad, 2016)

3.6.3. Medición de rugosidad de la superficie de los elementos del inyector

Para la medición de la rugosidad (Ra) se colocó la aguja y el pistón de mando sobre una mordaza de precisión, estén nivelados antes de empezar la medición.



Figura 70. Elemento sobre mordaza de precisión.

Se realizó un recorrido longitudinal en la aguja y en el pistón de mando por tres veces con el fin de obtener un mayor número de medidas para los cálculos estadísticos correspondientes.



Figura 71. Medición superficial de rugosidad.

Se realizaron las tablas estadísticas de la sumatoria y los promedios de las medidas, por medio de fórmulas estadísticas la desviación estándar de las medidas.

3.7. Protocolo de pesaje de elementos internos del inyector

El pesaje de los elementos internos de los inyectores usados es un procedimiento que tiene como objetivo verificar desgaste a través de la pérdida significativa de masa por desprendimiento del material. Los resultados son sometidos a comparación con datos de pesaje de los elementos del inyector nuevo.

Para obtener datos de alta confiabilidad y poder realizar el análisis se debe utilizar una balanza analítica con 4 decimales de precisión

3.7.1. Preparación de los elementos

El pesaje se realizó a 15 elementos internos del inyector nuevo y los 4 usados, para extraer los elementos de estudio es necesario desarmar el inyector aplicando la herramienta adecuada, además es importante conservar los protectores plásticos de fábrica para la tobera y la entrada de combustible.

Es indispensable usar guantes esterilizados para manipular los elementos con el fin de evitar el contacto directo y la contaminación de las superficies.



Figura 72. Desmontaje de elementos internos del inyector denso 6521.

Después de extraer los elementos se limpió con alcohol y se dejó secar las superficies para que los restos de mezcla-combustible no interfirieran con el pesaje de los mismos, colocar los elementos sobre una superficie suave.



Figura 73. Extracción de elementos internos.

3.7.2. Pesaje de los elementos

Para pesar los elementos se verificó que la balanza analítica este calibrada para evitar datos erróneos, de no estar calibrada se debe presionar una sola vez el botón de tara para encerrar.

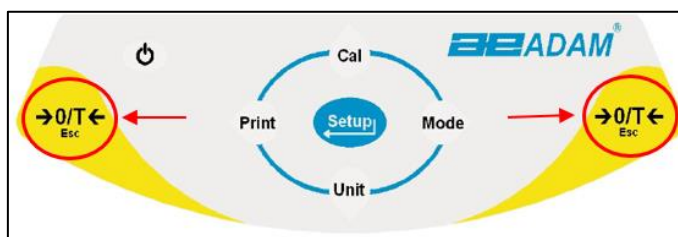


Figura 74. Panel de control de balanza analítica.

Se colocó un pedazo de papel aluminio sobre la cacerola para evitar el contacto directo con el elemento a pesar, cerrar la tapa de la caja y tarar.



Figura 75. Pantalla de balanza analítica.

Cuando la pantalla muestre un valor de 0 gramos se introdujo el elemento a pesar, cerrar la caja y esperar de 5 a 12 segundos para tomar una medición más precisa, llevar un registro de los valores.



Figura 76. Pesaje de porta tobera.

Para pesar otro elemento, se extrajo el elemento ya pesado, cerrar la caja y tarar. No se debe realizar el pesaje de un nuevo elemento sin antes tarar la balanza analítica.



Figura 77. Pesaje de aguja.

CAPÍTULO IV

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

Para el análisis de durabilidad de los materiales de fabricación del inyector denso 6521 se identificó en la tabla 21 cada uno de los inyectores tomando como datos la serie del cuerpo única de éstos para poder identificarlos y compararlos entre sí.

Tabla 21.

Codificación de inyectores denso 6521.

Inyector	Nuevo	1	2	3	4
Horas de funcionamiento	0	50	100	150	200
Marca	Denso	Denso	Denso	Denso	Denso
Serie	6521	6521	6521	6521	6521
Código bobina	F04085	FS00687	FS01272	DS05774	ES03567
Código cuerpo	05S00047	06S00471	06S00171	04S00008	04S00435

4.1. Análisis resultados banco de pruebas marca zapp modelo D52R-A

Las de pruebas realizadas a los inyectores verificarán el estado de la bobina de activación del inyector además de verificar el volumen de inyección y retorno en diferentes escenarios en los cuales el inyector tiene una exigencia adicional para un correcto funcionamiento del motor.

4.1.1. Análisis comparativo test R2LC: Pruebas eléctricas de inductancia y resistencia aplicadas a la bobina ($\mu\text{H}/\Omega$).

El test de inductancia y resistencia aplicado a la bobina de los inyectores denso 6521 del sistema common rail se desarrollaron bajo los parámetros de trabajo detallados en la tabla 22.

Tabla 22.

Valores de inductancia y resistencia especificados por el fabricante.

Código inspección	Condiciones de Prueba			Referencia		Parámetro
	STRK	Presión [bar]	Pulsos [μsec]	Máximo	Mínimo	
R2LC	2000	170	955	600,00	220,00	Inductancia [IND]
				1,15	0,40	Resistencia [RES]

Los resultados obtenidos se detallan en la tabla 23 y contemplan valores de operación de cada inyector y sus rangos de trabajo máximos y mínimos.

Tabla 23.

Valores de inductancia inyectores denso 6521.

Parámetro	Unidad	Medida	DENSO 6521				
			Inyector Nuevo	Inyector #1	Inyector #2	Inyector #3	Inyector #4
Inductancia [IND]	[μH]	Máximo	600,00	600,00	600,00	600,00	600,00
		Media	313,74	312,82	306,58	302,51	303,96
		Mínimo	220,00	220,00	220,00	220,00	220,00

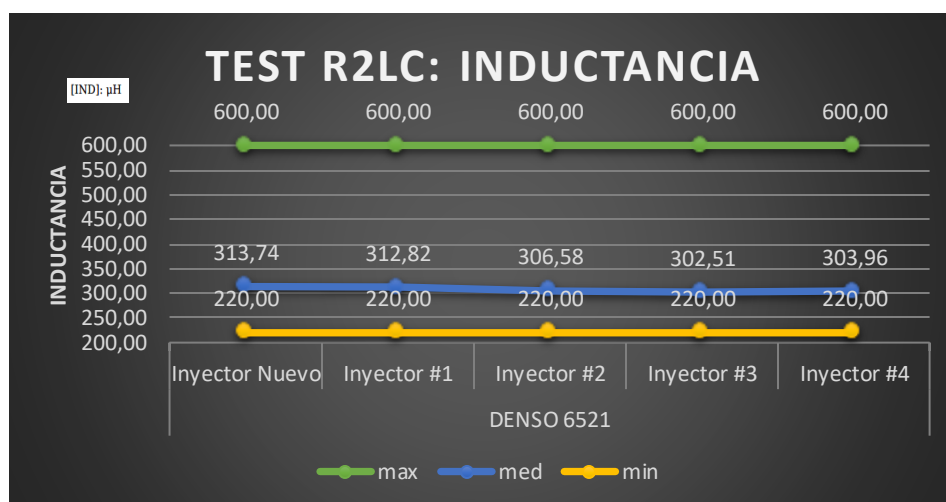


Figura 78. Relación de valores de inductancia entre el inyector nuevo y usados.

La figura 78 demuestra un comportamiento normal de la bobina en función de la inductancia que es el campo magnético que se genera al conducir corriente por la bobina.

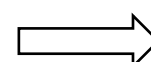
La tabla 24 detalla los valores de resistencia a los cuales fueron sometidas las bobinas de cada inyector.

Tabla 24.

Valores de resistencia inyectores denso 6521.

Parámetro	Unidad	Medida	DENSO 6521				
			Inyector Nuevo	Inyector #1	Inyector #2	Inyector #3	Inyector #4
Resistencia		Máximo	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15

CONTINÚA



[RES]	Ω	Media	0,55	0,54	0,48	0,48	0,48
		Mínimo	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40

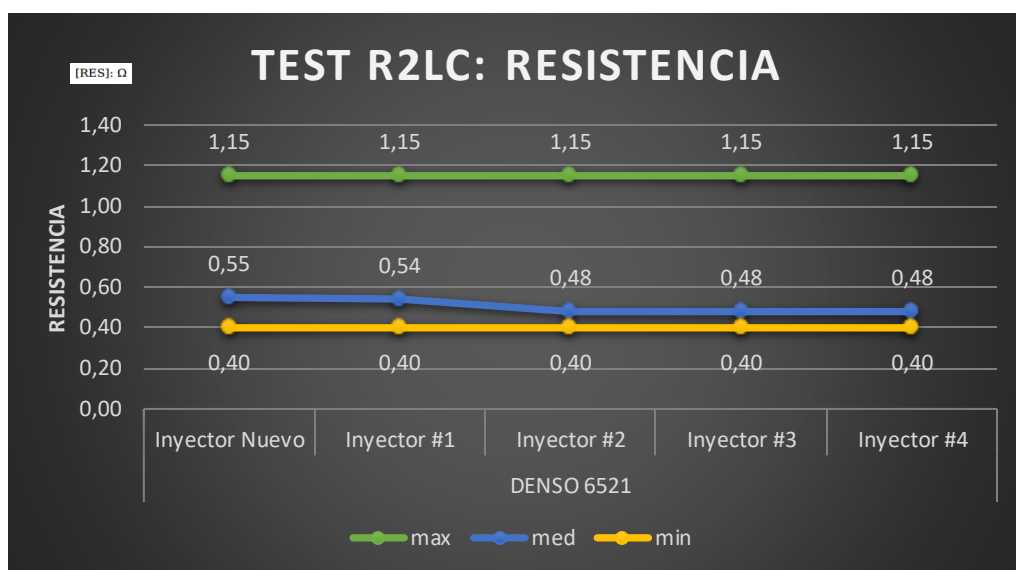


Figura 79. Relación de valores de resistencia entre el inyector nuevo y usados.

En función de la resistencia de la bobina del inyector se verifica en la figura 79 valores relativamente uniformes en relación al tiempo de trabajo de cada uno de éstos.

4.1.2. Análisis comparativo test iVM (TP1): Plena carga

La tabla 25 muestra el comportamiento de los inyectores en condiciones de trabajo altas siendo sus principales indicadores el volumen de entrega y retorno de combustible.

Tabla 25.

Valores de entrega y retorno de volumen de fluido a plena carga especificados por el fabricante.

Código inspección	Condiciones de Prueba			Referencia		Parámetro
	STRK	Presión [bar]	Pulsos [µsec]	Máximo	Mínimo	
iVM [TP1]	210	1600	955	300,00	0,00	Retorno [R]
				88,00	72,00	Entrega [D]

Para los valores de volumen de retorno a plena carga en la tabla 26 se resume los resultados obtenidos en el desarrollo de la prueba.

Tabla 26.

Valores de volumen de retorno de fluido a plena carga inyectores denso 6521.

Parámetro	Unidad	Medida	DENSO 6521				
			Inyector Nuevo	Inyector #1	Inyector #2	Inyector #3	Inyector #4
Retorno [R]	mm^3/STRK	Máximo	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00
		Media	158,25	224,18	158,25	211,00	158,25
		Mínimo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

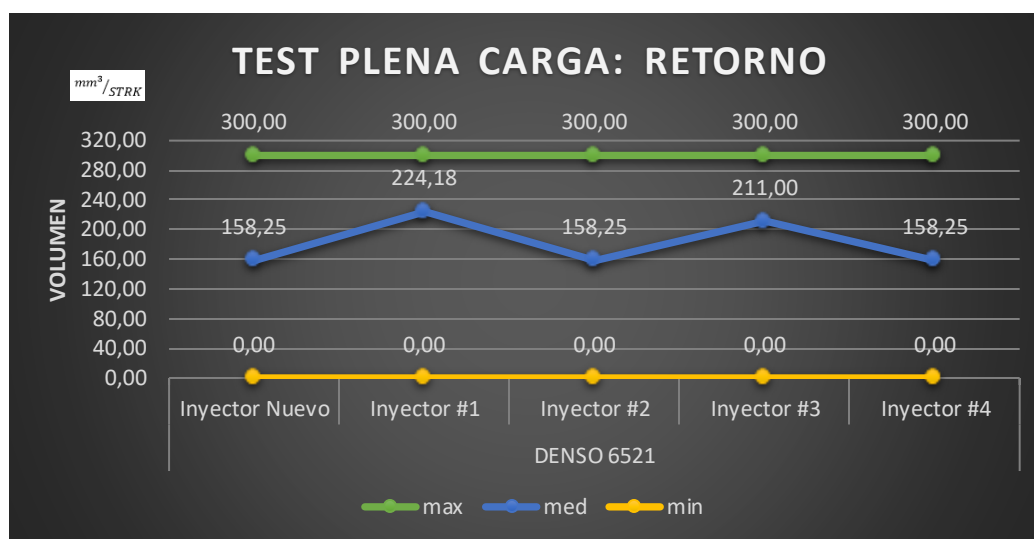


Figura 80. Relación de volumen de fluido de retorno a plena carga entre el inyector nuevo y usados.

En la figura 80 se verifica que el volumen de retorno de todos los inyectores está dentro de los límites, adicionalmente hay picos de 224,18 y 211,00 mm^3 por carrera en los inyectores uno y tres respectivamente dichos anomalías se profundizaran en análisis microscópico.

La tabla 27 resume los valores obtenidos en las pruebas de volumen de entrega a plena carga contemplando rangos de trabajo.

Tabla 27.

Valores de volumen de entrega de fluido a plena carga inyectores denso 6521.

Parámetro	Unidad	Medida	DENSO 6521				
			Inyector Nuevo	Inyector #1	Inyector #2	Inyector #3	Inyector #4

CONTINÚA 

Entrega [D]	$mm^3/STRK$	Máximo	88,00	88,00	88,00	88,00	88,00
		Medio	85,72	92,31	83,08	85,72	90,99
		Mínimo	72,00	72,00	72,00	72,00	72,00

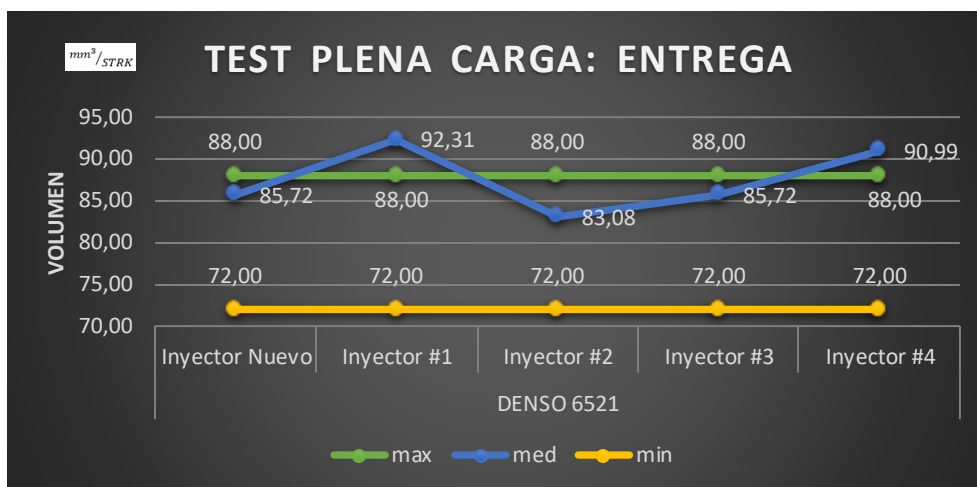


Figura 81. Relación de volumen de fluido de entrega a plena carga entre el inyector nuevo y usados.

En la figura 81 se aprecia que el volumen de entrega es irregular teniendo inconvenientes en dos inyectores al exceder el límite superior teniendo así en el inyector número uno con 50 horas de trabajo presenta un exceso de volumen de entrega de fluido a plena carga de $4,31 \text{ mm}^3$, por otra parte, el inyector número cuatro con 200 horas de trabajo presenta un exceso de volumen de entrega de fluido de $2,99 \text{ mm}^3$.

4.1.3. Análisis comparativo test iVM (TP2): Carga parcial

La tabla 28 muestra las condiciones en las cuales se desarrollará la prueba, adicionalmente los rangos de volumen de entrega a carga parcial correspondiente al tipo de inyector en estudio.

Tabla 28.

Valores de entrega de volumen de fluido a carga parcial especificados por el fabricante.

Código inspección	Condiciones de Prueba			Referencia		Parámetro
	STRK	Presión [bar]	Pulsos [μsec]	máx.	min.	
iVM [TP2]	1000	800	735	36,00	22,60	Entrega [D]

La tabla 29 muestra los resultados correspondientes a la prueba de volumen de entrega a carga parcial a la cual fueron sometidos los inyectores.

Tabla 29.

Valores de entrega de volumen de fluido a carga parcial de los inyectores denso 6521.

Parámetro	Unidad	Medida	DENSO 6521				
			Inyector Nuevo	Inyector #1	Inyector #2	Inyector #3	Inyector #4
Entrega [D]	mm ³ /STRK	Máximo	36,00	36,00	36,00	36,00	36,00
		Medio	25,32	27,69	26,90	25,32	23,74
		Mínimo	22,60	22,60	22,60	22,60	22,60

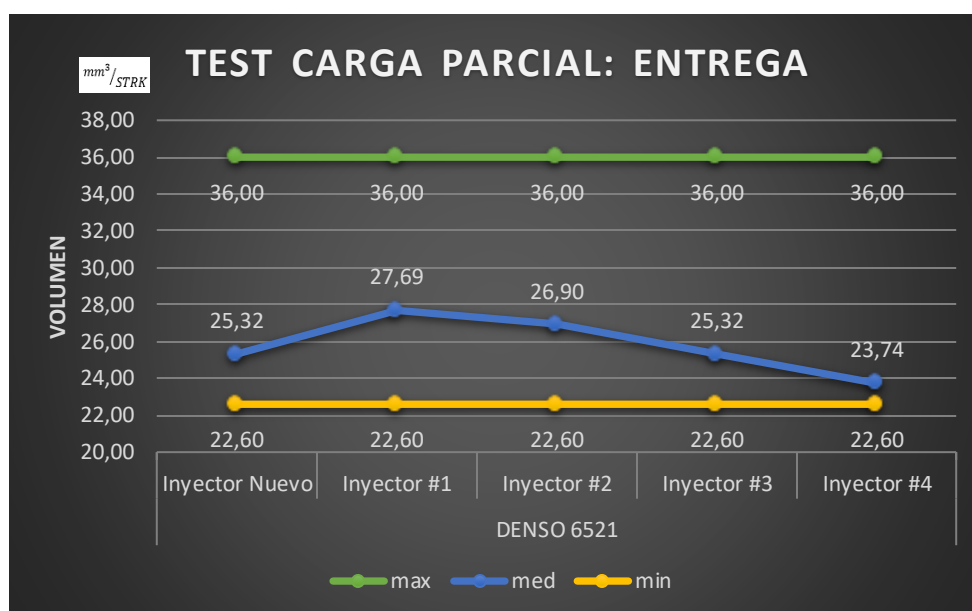


Figura 82. Relación de volumen de fluido de entrega a carga parcial entre el inyector nuevo y usados.

La figura 82 se muestra como varía el volumen de entrega de combustible a carga parcial teniendo en cuenta que la variación está dentro de los límites del fabricante del inyector.

4.1.4. Análisis comparativo test iVM (TP3): Emisiones.

El parámetro de operación para la prueba de volumen de entrega en presiones de inyección bajas se muestra en la tabla 30 teniendo en cuenta que esta prueba es fundamental para control de emisiones por parte del motor.

Tabla 30.

Valores de entrega de volumen de fluido a presión baja especificados por el fabricante.

Código inspección	Condiciones de Prueba			Referencia		Parámetro
	STRK	Presión [bar]	Pulsos [μsec]	máx.	min.	
iVM[TP3]	2000	290	765	8,30	3,70	Entrega [D]

La tabla 31 contiene los valores obtenidos en el desarrollo de la prueba teniendo en cuenta rangos de operación del inyector.

Tabla 31.

Valores de entrega de volumen de fluido a presión baja de los inyectores.

Parámetro	Unidad	Medida	DENSO 6521				
			Inyector Nuevo	Inyector #1	Inyector #2	Inyector #3	Inyector #4
Entrega [D]	mm ³ /STRK	Máximo	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30
		Medio	4,93	4,56	3,65	4,38	4,20
		Mínimo	3,70	3,70	3,70	3,70	3,70

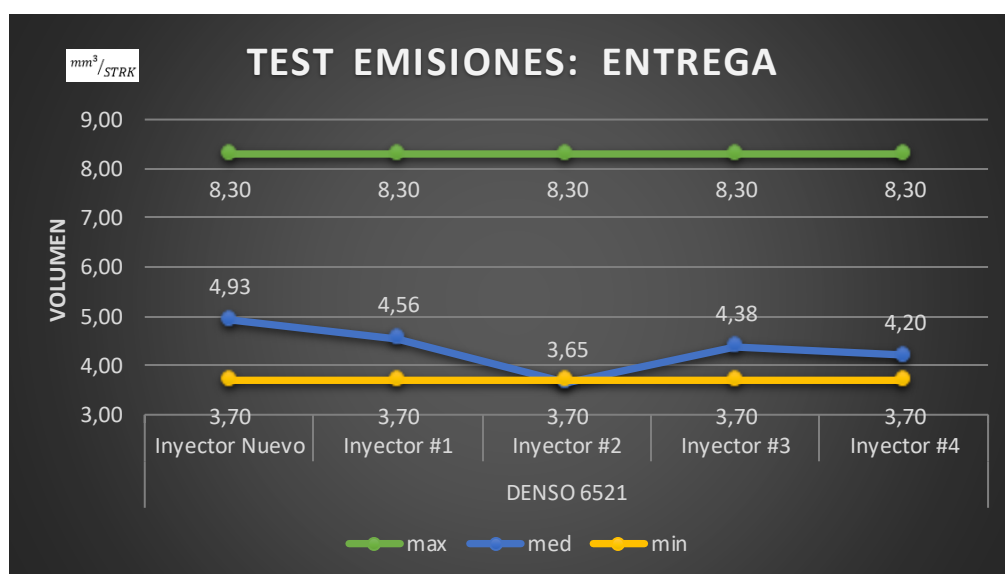


Figura 83. Relación de volumen de fluido de entrega a baja presión entre el inyector nuevo y usados.

La figura 83 muestra que el inyector número 2 con 100 horas de trabajo presenta un volumen de entrega de fluido a presión baja de 0,05 mm³ por debajo del valor mínimo de funcionamiento establecido por el fabricante.

4.1.5. Análisis comparativo test iVM (TP4): Carga baja

La tabla 32 muestra las condiciones de trabajo a las cuales fueron sometidos los inyectores y los rangos de referencia del fabricante para una condición de trabajo a carga baja.

Tabla 32.

Valores de entrega de volumen de fluido a carga baja especificados por el fabricante.

Código inspección	Condiciones de Prueba			Referencia		Parámetro
	STRK	Presión [bar]	Pulsos [µsec]	máx.	min.	
iVM[TP4]	2000	800	400	4,30	1,10	Entrega [D]

La tabla 33 contiene los resultados de la prueba de volumen de entrega a carga parcial de los inyectores al trabajar con mezcla combustible.

Tabla 33.

Valores de volumen de entrega de fluido a carga parcial Inyectores Denso 6521.

Parámetro	Unidad	Medida	DENSO 6521				
			Inyector Nuevo	Inyector #1	Inyector #2	Inyector #3	Inyector #4
Retorno [R]	$mm^3/STRK$	Máximo	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30
		Medio	2,46	3,02	2,55	2,46	2,27
		Mínimo	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10

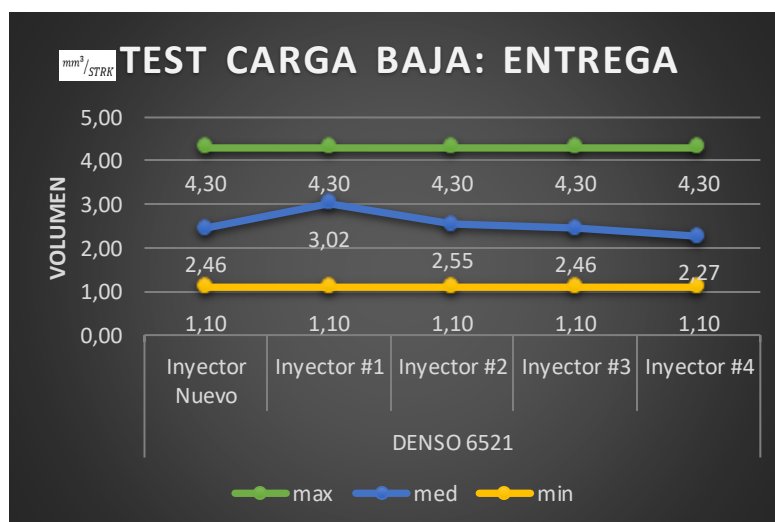


Figura 84. Relación de volumen de fluido de entrega a carga baja entre el inyector nuevo y usados.

La figura 84 muestra el comportamiento de cada inyector en función del volumen de entrega a carga parcial, los volúmenes están dentro de los límites establecidos por el fabricante.






4.2. Inspección visual de elementos de inyector denso 6521 common rail

La inspección visual de los elementos del inyector denso 6521 del sistema de inyección common rail nos permite comparar de forma superficial y analizar algún tipo de irregularidad con respecto al color o forma de cada uno de ellos teniendo un patrón original para cada uno.

4.2.1. Análisis comparativo portatobera

Tabla 34.

Análisis comparativo portatobera.

PORTATOBERA				
Inyector nuevo	Inyector 50 horas	Inyector 100 horas	Inyector 150 horas	Inyector 200 horas
				

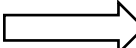
El análisis óptico del portatobera determina deformación en el sector de la rosca, provocado por contacto directo con herramienta de taller usada para la remoción del elemento del cuerpo del inyector.

4.2.2. Análisis comparativo tobera

Tabla 35.

Análisis comparativo tobera.

TOBERA				
Inyector nuevo	Inyector 50 horas	Inyector 100 horas	Inyector 150 horas	Inyector 200 horas

CONTINÚA 








El análisis óptico de la tobera determina la inexistencia de algún patrón anormal de deformación superficial.

4.2.3. Análisis comparativo aguja

Tabla 36.

Análisis comparativo aguja de inyector.






AGUJA				
Inyector nuevo	Inyector 50 horas	Inyector 100 horas	Inyector 150 horas	Inyector 200 horas
				

El análisis óptico de la punta de la aguja determina la inexistencia de algún patrón anormal de deformación superficial.

4.2.4. Análisis comparativo resorte aguja

Tabla 37.

Análisis comparativo resorte.

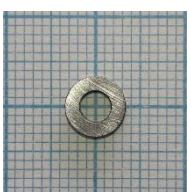
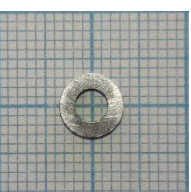
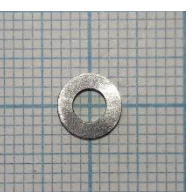

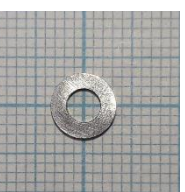
RESORTE AGUJA				
Inyector nuevo	Inyector 50 horas	Inyector 100 horas	Inyector 150 horas	Inyector 200 horas
				

El análisis óptico del resorte de la aguja determina la inexistencia de algún patrón anormal de deformación superficial.

4.2.5. Análisis comparativo base resorte aguja

Tabla 38.

Análisis comparativo base de resorte de aguja.

BASE RESORTE AGUJA				
Inyector nuevo	Inyector 50 horas	Inyector 100 horas	Inyector 150 horas	Inyector 200 horas
				

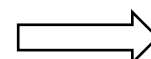
El análisis óptico de la base del resorte de la aguja determina la inexistencia de algún patrón anormal de deformación superficial.

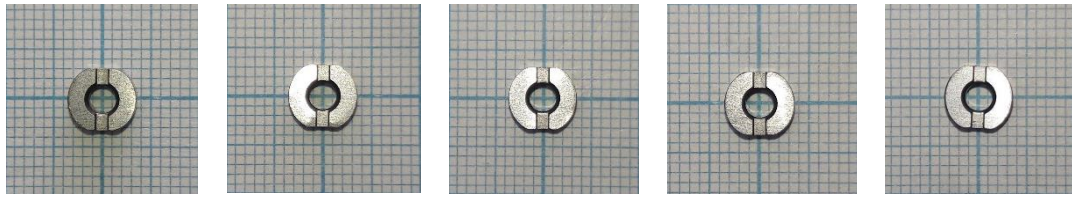
4.2.6. Análisis comparativo base con destaje de resorte de aguja

Tabla 39. Análisis comparativo base con destaje de aguja.

BASE DESTAJE RESORTE AGUJA				
Inyector nuevo	Inyector 50 horas	Inyector 100 horas	Inyector 150 horas	Inyector 200 horas

CONTINÚA










El análisis óptico de la base con destaje del resorte de la aguja determina la inexistencia de algún patrón anormal de deformación superficial.

4.2.7. Análisis comparativo guía 1

Tabla 40.

Análisis comparativo guía 1.






GUÍA 1				
Inyector nuevo	Inyector 50 horas	Inyector 100 horas	Inyector 150 horas	Inyector 200 horas
				

El análisis óptico de la guía 1 del asiento de válvula determina la inexistencia de algún patrón anormal de deformación superficial.

4.2.8. Análisis comparativo guía 2

Tabla 41.

Análisis comparativo guía 2.




GUÍA 2				
Inyector nuevo	Inyector 50 horas	Inyector 100 horas	Inyector 150 horas	Inyector 200 horas
				

El análisis óptico de la guía 2 del asiento de válvula determina la inexistencia de algún patrón anormal de deformación superficial.

4.2.9. Análisis comparativo asiento de válvula

Tabla 42.

Análisis comparativo asiento de válvula.






ASIENTO DE VÁLVULA				
Inyector nuevo	Inyector 50 horas	Inyector 100 horas	Inyector 150 horas	Inyector 200 horas
				

El análisis óptico del asiento de válvula determina la inexistencia de algún patrón anormal de deformación superficial.

4.2.10. Análisis comparativo válvula

Tabla 43.

Análisis comparativo válvula del inyector.






VÁLVULA				
Inyector nuevo	Inyector 50 horas	Inyector 100 horas	Inyector 150 horas	Inyector 200 horas
				

El análisis óptico de la válvula determina la inexistencia de algún patrón anormal de deformación superficial.

4.2.11. Análisis comparativo émbolo de mando

Tabla 44.

Análisis comparativo embolo de mando.






ÉMBOLO DE MANDO				
Inyector nuevo	Inyector 50 horas	Inyector 100 horas	Inyector 150 horas	Inyector 200 horas
				

El análisis óptico del embolo de mando determina la inexistencia de algún patrón anormal de deformación superficial.

4.2.12. Análisis comparativo válvula solenoide

Tabla 45.






Análisis comparativo válvula solenoide.

VÁLVULA SOLENOIDE				
Inyector nuevo	Inyector 50 horas	Inyector 100 horas	Inyector 150 horas	Inyector 200 horas
				

El análisis óptico de la válvula solenoide determina la inexistencia de algún patrón anormal de deformación superficial.

4.2.13. Análisis comparativo anillo de calibración






Tabla 46.
Análisis comparativo anillo de calibración.

ANILLO DE CALIBRACIÓN				
Inyector nuevo	Inyector 50 horas	Inyector 100 horas	Inyector 150 horas	Inyector 200 horas
				

El análisis óptico del anillo de calibración determina la inexistencia de algún patrón anormal de deformación superficial.

4.2.14. Análisis comparativo resorte solenoide

Tabla 47.
Análisis comparativo resorte de solenoide.

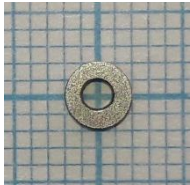
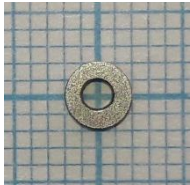

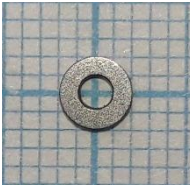

RESORTE SOLENOIDE				
Inyector nuevo	Inyector 50 horas	Inyector 100 horas	Inyector 150 horas	Inyector 200 horas
				

El análisis óptico del resorte del solenoide determina la inexistencia de algún patrón anormal de deformación superficial.

4.2.15. Análisis comparativo arandela de solenoide

Tabla 48.

Análisis comparativo arandela de solenoide.






ARANDELA DE SOLENOIDE				
Inyector nuevo	Inyector 50 horas	Inyector 100 horas	Inyector 150 horas	Inyector 200 horas
				

El análisis óptico de la arandela del solenoide determina la inexistencia de algún patrón anormal de deformación superficial.

4.2.16. Análisis comparativo solenoide

Tabla 49.

Análisis comparativo de la superficie de solenoide.

SOLENOIDE				
Inyector nuevo	Inyector 50 horas	Inyector 100 horas	Inyector 150 horas	Inyector 200 horas
				

El análisis de la superficie interna del solenoide determina la inexistencia de algún patrón anormal de deformación superficial.

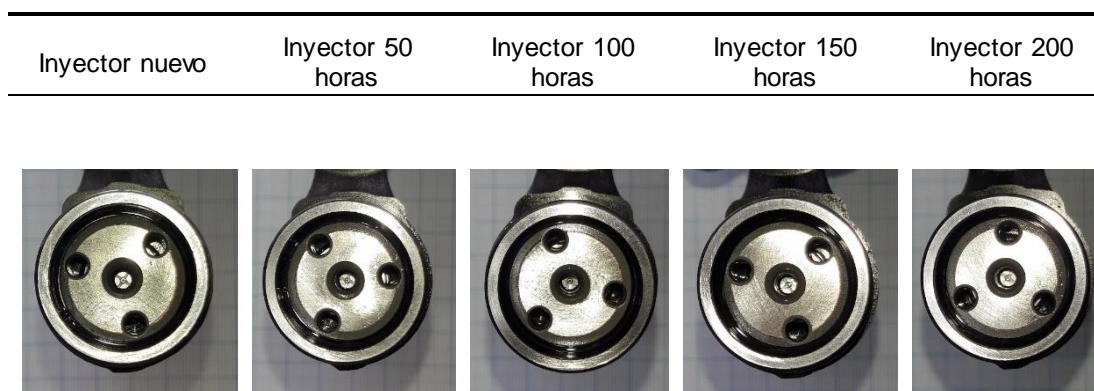
4.2.17. Análisis comparativo cuerpo del inyector

Tabla 50.

Análisis comparativo superficie superior cuerpo del inyector.

CUERPO DEL INYECTOR				
---------------------	--	--	--	--

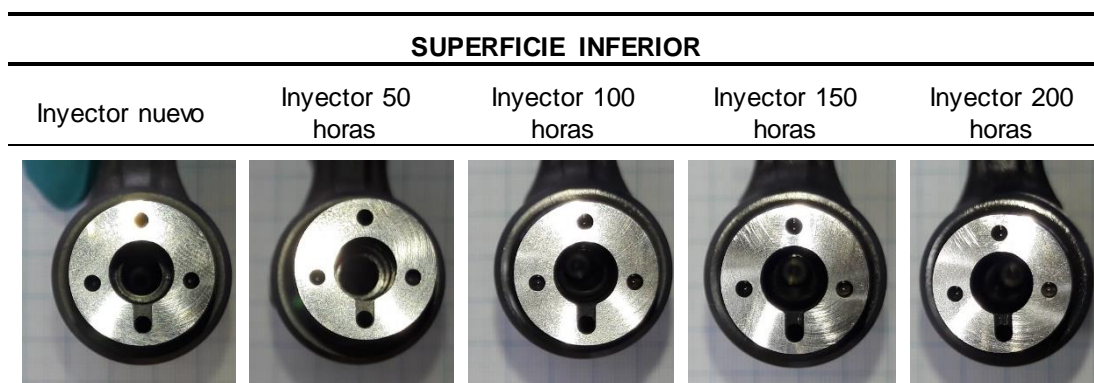
CONTINÚA 



El análisis óptico de la superficie superior del cuerpo del inyector determina la inexistencia de algún patrón anormal de deformación superficial.

Tabla 51.

Análisis comparativo superficie inferior cuerpo del inyector.



El análisis óptico de la superficie inferior del cuerpo del inyector determina la inexistencia de algún patrón anormal de deformación superficial.

4.3. Análisis comparativo de microestructura mediante microscopio Meiji modelo 7000

El análisis microscópico determinará de forma precisa la estructura de los elementos internos del inyector denso 6521 luego de operar con mezcla combustible en intervalos de trabajo definidos.

El análisis está enfocado a tres elementos específicos del inyector:

- Émbolo de mando en sus 5 sectores de contacto.
- Aguja del inyector en sus 2 superficies de contacto.
- Contorno del agujero de pulverización de la tobera.

4.3.1. Análisis microscópico émbolo de mando.

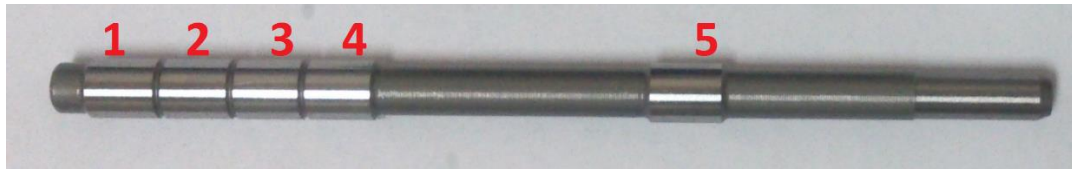


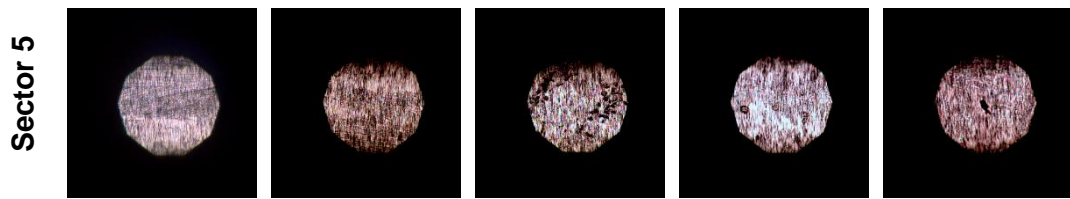
Figura 85. Émbolo de mando y sectores de contacto.

En la figura 85 se observa los cinco sectores donde se realizó el análisis superficial.

Tabla 52. *Microestructuras de los sectores del émbolo de mando inyector nuevo y usados.*

	Inyector Nuevo	Inyector 1	Inyector 2	Inyector 3	Inyector 4
Sector 1					
Sector 2					
Sector 3					
Sector 4					

CONTINÚA



La tabla 52 muestra la superficie micro estructural de los 4 inyectores usados y el nuevo en los 5 sectores del émbolo de mando con un aumento total de 100X, se deduce lo siguiente:

a. Desgaste abrasivo

A continuación, los inyectores que presentan patrones mínimos de desgaste abrasivo a tres cuerpos en distintos sectores del émbolo de mando.

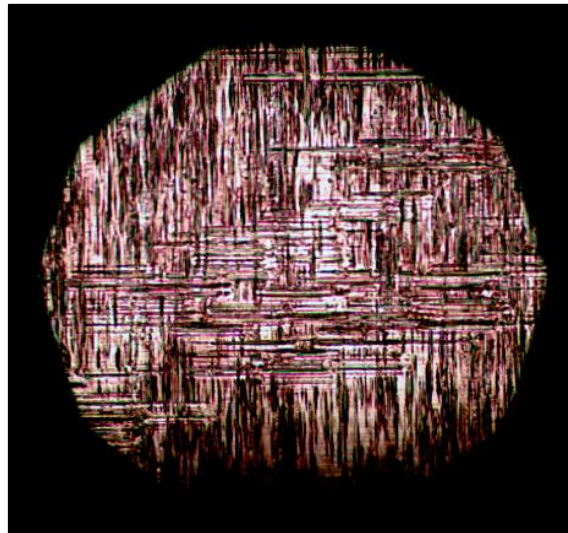


Figura 86. Sector uno inyector 50 horas.

En la figura 86 se puede observar desgaste abrasivo a tres cuerpos en la misma dirección de funcionamiento del elemento y perpendicular al patrón original de la microestructura, el área de desgaste es amplia y mantiene el mismo patrón.

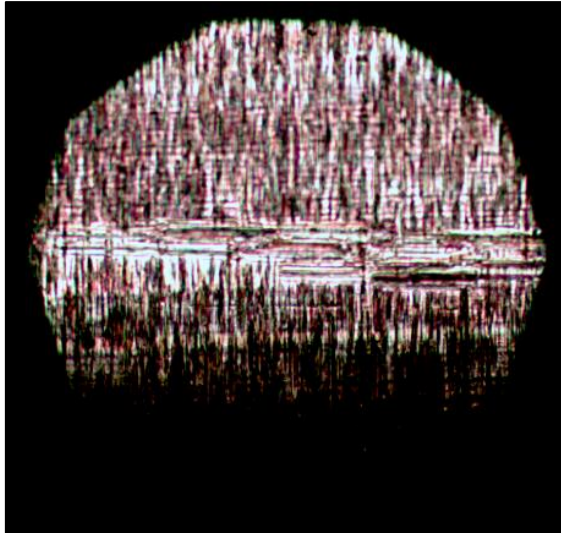


Figura 87. Sector tres inyector 150 horas.

En la figura 87 se puede observar desgaste abrasivo a tres cuerpos en la misma dirección de funcionamiento del elemento y perpendicular al patrón original de la microestructura, el área del desgaste es pequeña y de poca profundidad.

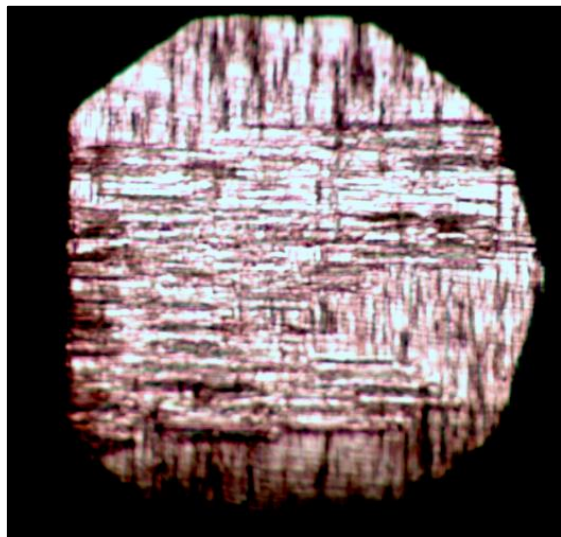


Figura 88. Sector tres inyector 200 horas.

En la figura 88 se puede observar desgaste abrasivo a tres cuerpos en la misma dirección de funcionamiento del elemento y perpendicular al patrón original de la microestructura, el área del desgaste es grande y presenta mayor desprendimiento de material.

El desgaste abrasivo se consideró a tres cuerpos debido a las impurezas que pudieron ingresar en la mezcla combustible y provocarlo, solo está presente en los inyectores ya mencionados, el resto de inyectores no presenta ninguna anomalía de su patrón micro estructural en los cinco sectores del émbolo de mando.

b. Cicatriz de desgaste

A continuación, los inyectores que presentan patrones de desgaste y desprendimiento en mayor cantidad en distintos sectores del émbolo de mando. La declaración de acuerdo común establece el diámetro de cicatriz de desgaste no debe ser mayor de 460 micras medida por la prueba HFRR especificada en ISO 12156-1, es decir, el área de la cicatriz de desgaste no debe superar los 166190.251 micras cuadradas.

$$\text{Área de Desgate} = \frac{\pi * D^2}{4}$$

$$\text{Área de Desgate} = \frac{\pi * (460 \mu\text{m})^2}{4}$$

$$\text{Área de Desgate} = 166190.251 \mu\text{m}^2$$

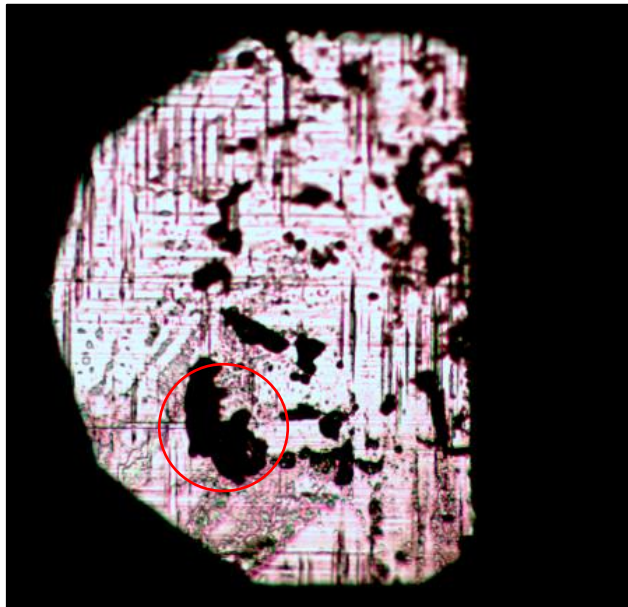


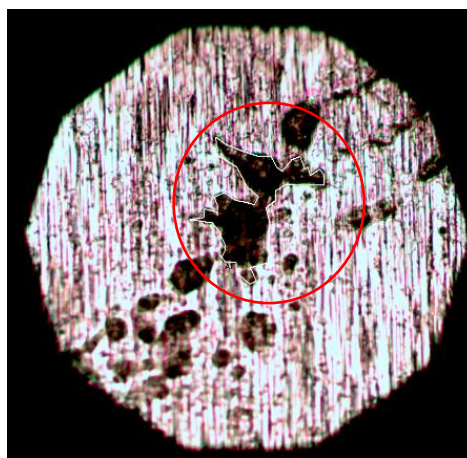
Figura 89. Sector uno inyector 100 horas.

La figura 89 tiene un aumento de 200X, se puede observar desgaste abrasivo con áreas de desprendimiento de material.

Tabla 53.**Valores cicatriz de desgaste sector uno inyector 100 horas.**

Marca / Color	Área (μm^2)	Perímetro (μm)
A1/ Rojo	1675.5	230.1

En la tabla 53 se observa los valores de la cicatriz de desgaste que se tiene en figura 89, esta área en comparación al área máxima establecida por los fabricantes de equipos de inyección de combustible diésel está contenida 99 veces.

**Figura 90.** Sector cinco inyector 100 horas.

La figura 90 tiene un aumento de 200X, se puede observar desgaste abrasivo con áreas de desprendimiento de material.

Tabla 54.**Valores cicatriz de desgaste sector cinco inyector 100 horas.**

Marca / Color	Área (μm^2)	Perímetro (μm)
A1/ Rojo	3207.7	448.0

En la tabla 54 se observa los valores de la cicatriz de desgaste que se tiene en figura 90, esta área en comparación al área máxima establecida por los fabricantes de equipos de inyección de combustible diésel está contenida 51 veces.

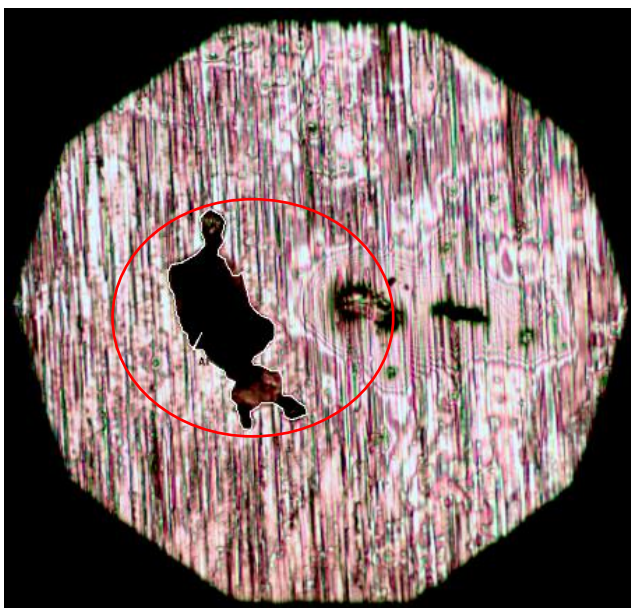


Figura 91. Sector cinco inyector 200 horas.

La figura 91 tiene un aumento de 200X, se puede observar desgaste abrasivo con áreas de desprendimiento de material.

Tabla 55.

Valores cicatriz de desgaste sector cinco inyector 200 horas.

Marca / Color	Área (μm^2)	Perímetro (μm)
A1/ Rojo	3039.8	369.5

En la tabla 55 se observa los valores de la cicatriz de desgaste que se tiene en figura 94, esta área en comparación al área máxima establecida por los fabricantes de equipos de inyección de combustible diésel está contenida 54 veces.

4.3.2. Análisis microscópico aguja de la tobera

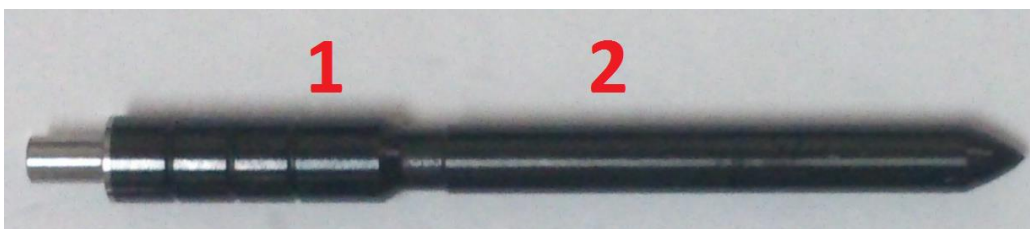
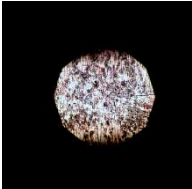

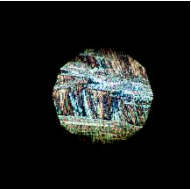
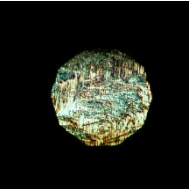
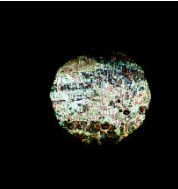

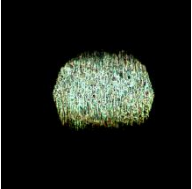
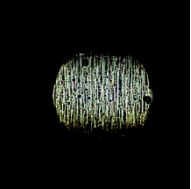
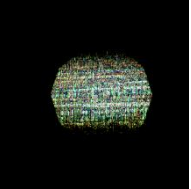
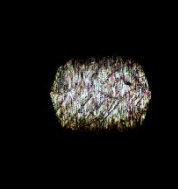


Figura 92. Aguja de inyector con sus 2 sectores de contacto.

En la figura 92 se muestran los dos sectores donde se realizó el análisis superficial en la aguja del inyector.

Tabla 56.

Microestructuras de los sectores de la aguja del inyector nuevo y usados

	Inyector Nuevo	Inyector 1	Inyector 2	Inyector 3	Inyector 4
Sector 1					
Sector 2					

La tabla 52 muestra la superficie micro estructural de los 4 inyectores usados y el nuevo en los 2 sectores de la aguja del inyector con un aumento total de 100X, se deduce lo siguiente:

a. Desgaste abrasivo

A continuación, los inyectores que presentan patrones mínimos de desgaste abrasivo a tres cuerpos en el sector 1 de la aguja del inyector.

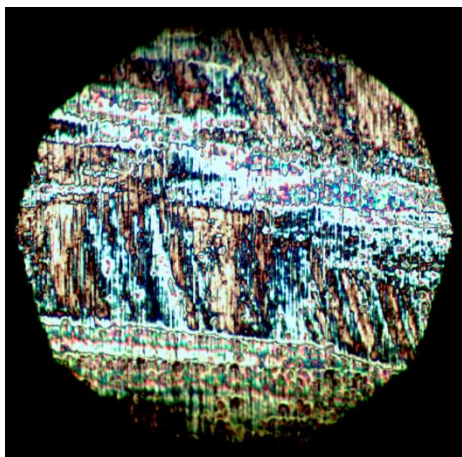


Figura 93. Sector uno inyector 100 horas.

En la figura 93 se puede observar desgaste abrasivo a tres cuerpos en la misma dirección de funcionamiento de la aguja del inyector y diagonal al patrón original de la microestructura, el área del desgaste es irregular y además presenta un cambio de color con respecto a su imagen patrón.

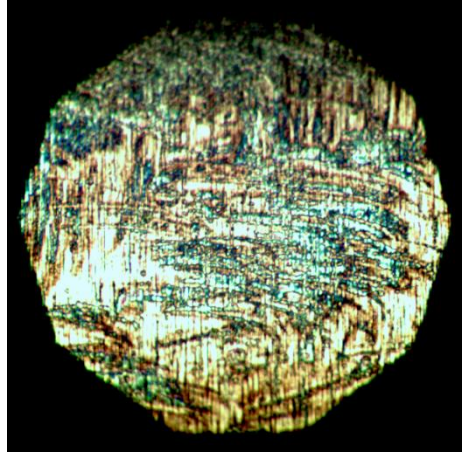


Figura 94. Sector uno inyector 150 horas.

En la figura 94 se puede observar desgaste abrasivo a tres cuerpos en la misma dirección de funcionamiento de la aguja del inyector y perpendicular al patrón original de la microestructura, el área del desgaste es irregular y además presenta un cambio de color con respecto a su imagen patrón.

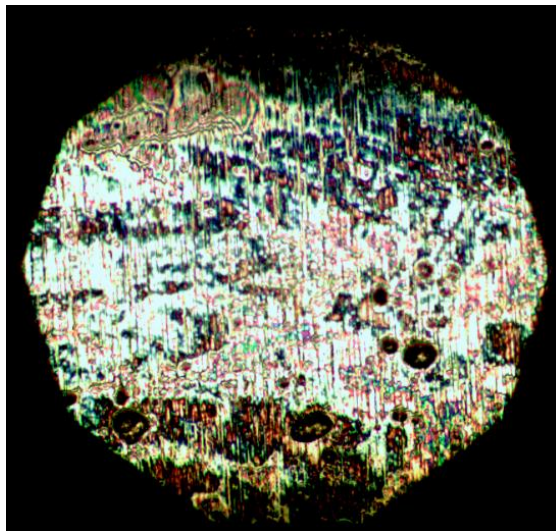


Figura 95. Sector uno inyector 200 horas.

En la figura 95 se puede observar desgaste abrasivo a tres cuerpos en forma de círculos, el área del desgaste es irregular y además presenta un cambio de color con respecto a su imagen patrón.

El sector 2 de la aguja para los cuatro inyectores siempre se encuentra lubricado, el espacio que existe entre la superficie del sector 2 y la tobera es mayor teniendo así una película de lubricación más amplia y evitando el contacto directo en seco entre ambas partes, por tal motivo no existe desgaste abrasivo, manteniendo su similitud con respecto a la imagen patrón.

4.3.3. Análisis microscópico orificio de pulverización de la tobera del inyector

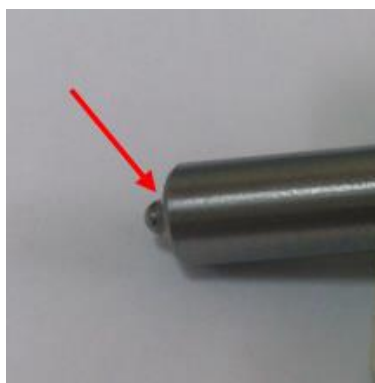


Figura 96. Orificios de pulverización de la tobera.

En la figura 96 se muestran la superficie donde se realizó el análisis superficial del contorno del orificio de pulverización.

Tabla 57.

Microestructuras de perfil de orificio de pulverización inyector nuevo y usados.

	Inyector Nuevo	Inyector 1	Inyector 2	Inyector 3	Inyector 4
Orificio					
Diámetro					

La tabla 57 muestra la microestructura en el perfil del agujero de pulverización con un aumento total de 100X y la medición del diámetro del agujero de pulverización con un aumento de 200 X.

Tabla 58.

Valores de diámetro en orificios de pulverización.

 inyector Horas Funcionamiento	Diámetro (µm)	El valor en X (µm)
0	169.9	169.8
50	169	169
100	172.9	172.9
150	167.2	167.1
200	168.6	168.6

En la tabla 58 se observa la medida de los diámetros del orificio de pulverización, el diámetro promedio del agujero esta entre 167.1 y 172.9 micrones de diámetro, tomando como valor estándar al diámetro del elemento del inyector nuevo con un valor de 169,9 micrones.

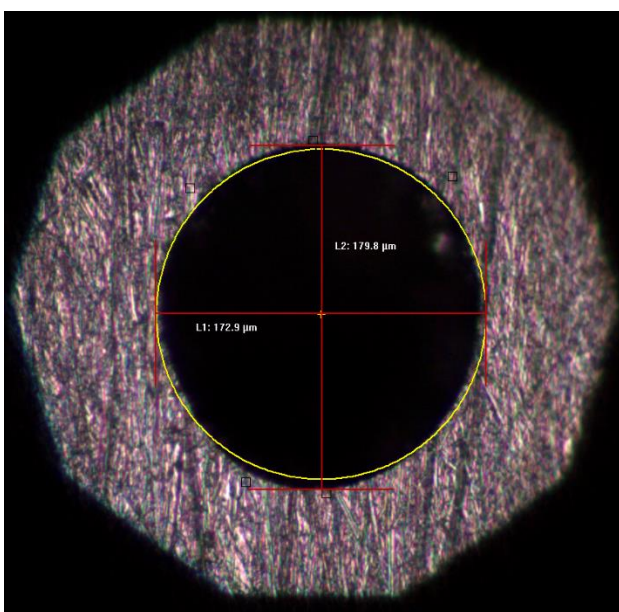


Figura 97. Contorno orificio de pulverización inyector 100 horas.

En la figura 97 se observa un ovalamiento en el contorno del orificio de pulverización, con un valor en el eje X de 172,9 micrones y en el eje Y de 179,8 micrones.

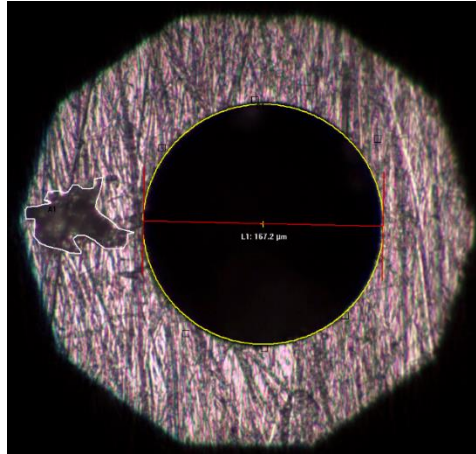


Figura 98. Cicatriz de desgaste junto a orificio de pulverización inyector 100 horas.

En la figura 98 se observa un patrón anormal de desprendimiento de material cerca del orificio. La forma irregular de desgaste tiene un perímetro de 369,5 micrones y un área de 3038,9 micrones cuadrados, esta área en comparación al área máxima establecida por los fabricantes de equipos de inyección de combustible diésel está contenida 54 veces.

El resto de orificios de pulverización de la tobera no presentan anomalías con en comparación a la figura patrón, manteniendo su diámetro de agujero dentro del promedio del valor original.

4.4. Análisis cuantitativo de rugosidad superficial del inyector denso 6521

El análisis cualitativo es fundamental en los elementos del inyector básicamente en los sectores de mayor incidencia como son el émbolo de mando y la aguja del inyector por ser sitios en los cuales existe contacto entre superficies produciendo un desgaste abrasivo a tres cuerpos.

Los sectores en los cuales se realizó la medición de rugosidad son en el sector 5 para el émbolo de mando y en el sector 2 de la aguja del inyector, ambos por presentar mayores patrones de desgaste respectivamente.

4.4.1. Medición de rugosidad en émbolo de mando sector

Las tabas 59,60,61,62,63 contienen los valores de rugosidad en el sector 5 del émbolo de mando el inyector nuevo y los cuatro sometidos al protocolo de pruebas respectivamente.

Siguiendo el protocolo de medición de rugosidad se registró tres mediciones por cada sector para determinar un valor promedio de rugosidad.

Tabla 59.

Valores de rugosidad émbolo de mando sector 5 inyector nuevo.

INYECTOR NUEVO		
Ord	Émbolo de mando	Ra
1	0,279	µm
2	0,255	µm
3	0,279	µm
Sumatoria	0,813	µm
Promedio	0,271	µm

Tabla 60.

Valores de rugosidad émbolo de mando sector 5 inyector 1 a 50 horas.

INYECTOR #1		
Ord	Émbolo de mando	Ra
1	0,282	µm
2	0,291	µm
3	0,256	µm
Sumatoria	0,829	µm
Promedio	0,276	µm

Tabla 61.

Valores de rugosidad émbolo de mando sector 5 inyector 2 a 100 horas.

INYECTOR #2		
Ord	Émbolo de mando	Ra
1	0,287	µm
2	0,263	µm
3	0,263	µm
Sumatoria	0,813	µm
Promedio	0,271	µm

Tabla 62.

Valores de rugosidad émbolo de mando sector 5 inyector 3 a 150 horas.

INYECTOR #3		
Ord	Émbolo de mando	Ra
1	0,260	μm
2	0,260	μm
3	0,256	μm
Sumatoria	0,776	μm
Promedio	0,259	μm

Tabla 63.

Valores de rugosidad émbolo de mando sector 5 inyector 4 a 200 horas.

INYECTOR #4		
Ord	Émbolo de mando	Ra
1	0,146	μm
2	0,116	μm
3	0,149	μm
Sumatoria	0,411	μm
Promedio	0,137	μm

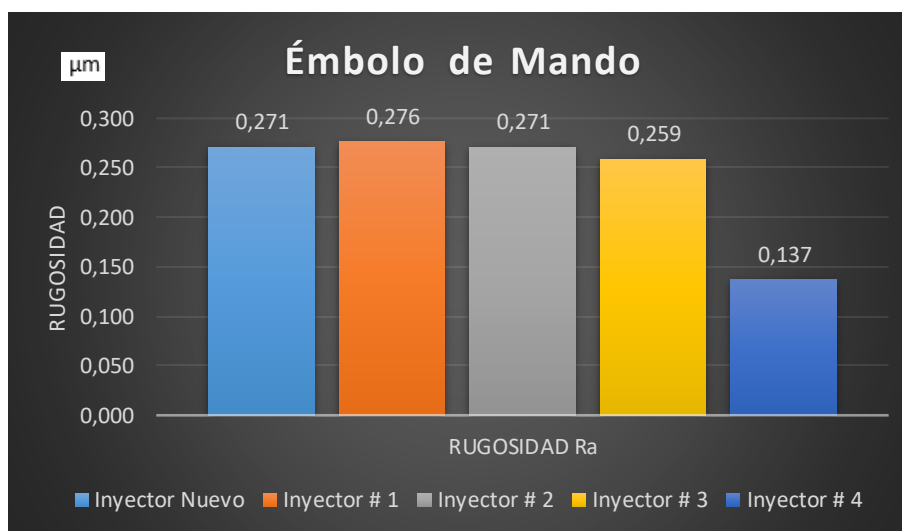


Figura 99. Relación de valores de rugosidad en embolo de mando sector 5 entre el Inyector nuevo y usados.

En la figura 99 se observa los valores de rugosidad superficial en el sector cinco del inyector nuevo y los inyectores después de trabajar con mezcla combustible.

La diferencia notoria de valor de rugosidad está dada por el inyector cuatro a 200 horas de funcionamiento, el mismo disminuye en un valor de 0,134 con respecto al valor de rugosidad del inyector con 0 horas de funcionamiento en la superficie evaluada, además su valor está dentro de un grado de rugosidad N3, sin embargo, cumple con la aplicación para equipos de trabajo hidráulicos.

Para el resto los valores de rugosidad se comprueban que están dentro de un rango $<0,2$ y $>0,4$ que corresponde a un grado de rugosidad N4 con aplicación en superficies de cilindros de bombas hidráulicas que se asemeja a la condición de trabajo del inyector common rail.

4.4.2. Aguja del inyector

Bosch R. (2005) establece que al ser el elemento que garantiza la estanqueidad del sistema la rugosidad está dentro de los parámetros relevantes con los cuales debe contar la aguja del inyector. La holgura entre la aguja del inyector y la tobera es de aprox. 0,002 mm (2 μ m) determinante al trabajar con un combustible que proporcionara la película lubricante que estos elementos necesitan para cumplir con su vida útil de forma satisfactoria según especificaciones de los fabricantes.

Las tabas 64,65,66,67,68 contienen los valores de rugosidad en el sector uno de la aguja del inyector nuevo y los cuatro sometidos al protocolo de pruebas respectivamente.

En el protocolo de medición de rugosidad se registró tres mediciones por cada sector para determinar un valor promedio de rugosidad final.

Tabla 64.

Valores de rugosidad sector 1 aguja del inyector nuevo.

INYECTOR NUEVO		
Ord	Aguja del inyector	Ra
1	0,359	μ m
2	0,361	μ m
3	0,322	μ m
Sumatoria	1,042	μ m
Promedio	0,347	μm

Tabla 65.

Valores de rugosidad sector 1 aguja del inyector 1 a 50 horas.

INYECTOR #1		
Ord	Aguja del inyector	Ra
1	0,281	μm
2	0,295	μm
3	0,294	μm
Sumatoria	0,870	μm
Promedio	0,290	μm

Tabla 66.

Valores de rugosidad sector 1 aguja del inyector 2 a 100 horas.

INYECTOR #2		
ORD	AGUJA DEL INYECTOR	Ra
1	0,300	μm
2	0,269	μm
3	0,284	μm
SUMATORIA	0,853	μm
PROMEDIO	0,284	μm

Tabla 67.

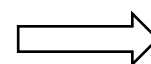
Valores de rugosidad sector 1 aguja del inyector 3 a 150 horas.

INYECTOR #3		
ORD	AGUJA DEL INYECTOR	Ra
1	0,327	μm
2	0,398	μm
3	0,387	μm
SUMATORIA	1,112	μm
PROMEDIO	0,371	μm

Tabla 68. *Valores de rugosidad sector 1 aguja del inyector 4 a 200 horas.*

INYECTOR #4		
ORD	AGUJA DEL INYECTOR	Ra
1	0,559	μm
2	0,297	μm

CONTINÚA



3	0,230	μm
SUMATORIA	1,086	μm
PROMEDIO	0,362	μm

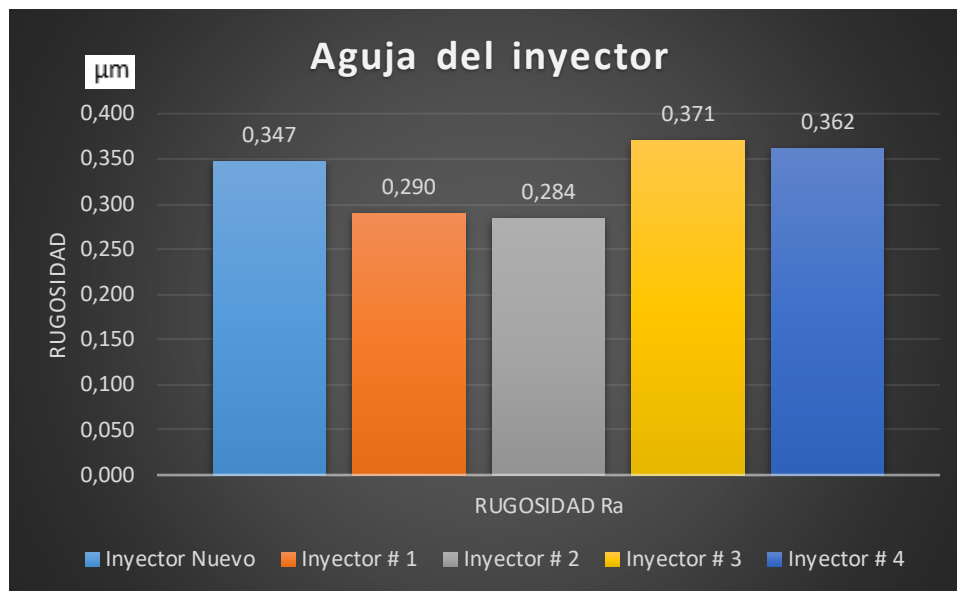


Figura 100. Relación de valores de rugosidad en aguja del inyector sector 1 entre el inyector nuevo y usados.

En la figura 100 se observa los valores de rugosidad superficial en el sector uno de la aguja del inyector nuevo y los inyectores después de trabajar con mezcla combustible.

La diferencia notoria de valor de rugosidad está dada por el inyector dos a 100 horas de funcionamiento, el mismo disminuye en un valor de 0,063 con respecto al valor de rugosidad del inyector con 0 horas de funcionamiento en la superficie evaluada.

Para todos los valores de rugosidad se comprueba que están dentro de un rango $<0,2$ y $>0,4$ que corresponde a un grado de rugosidad N4 con aplicación en superficies de cilindros de bombas hidráulicas que se asemeja a la condición de trabajo del inyector common rail.

4.5. Análisis de pesos de los elementos del inyector denso 6521

El objetivo de pesar los elementos internos del inyector con cero horas de funcionamiento y 4 inyectores sometidos a prueba con mezcla combustible en

intervalos de 50, 100, 150 y 200 horas de trabajo es conocer su masa y mediante comparación verificar si existe una variación excesiva de los mismos o se encuentra dentro de una tolerancia de fabricación.

Es importante recalcar que cada elemento es único, por ende, su peso, sin embargo, el pesaje es necesario para verificar alguna anomalía que demuestre la presencia de desgaste excesivo. La diferencia está dada en centésimas de gramo, es por ello que para el pesaje se utilizó una balanza analítica de 4 decimales de precisión.

4.5.1. Comparación de pesos portatobera

Tabla 69.

Pesos portatobera.

PORTATOBERA	
Inyector	Peso (gr.)
Nuevo	23.3851
Número 1 (50 horas)	23.3157
Número 2 (100 horas)	23.5626
Número 3 (150 horas)	23.5989
Número 4 (200 horas)	23.5167

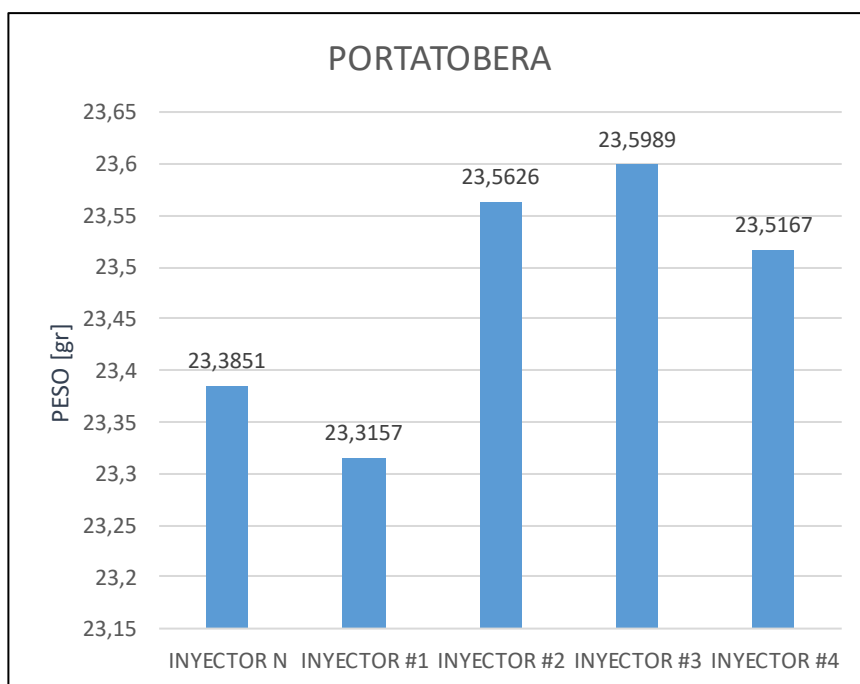


Figura 101. Comparación visual de pesos de portatobera.

Con los datos de la figura 101 se establece el promedio de pesos igual a 23,4758 gr, valor máximo de 23,5989 gr y el valor mínimo es de 23,3157 gr.

La diferencia entre el valor máximo y el mínimo es de 0,2832 que equivale al 1,2% con respecto al valor promedio.

4.5.2. Comparación de pesos tobera

Tabla 70.

Pesos tobera.

TOBERA	
Inyector	Peso (gr.)
Nuevo	22.7029
Número 1 (50 horas)	22.6650
Número 2 (100 horas)	22.6331
Número 3 (150 horas)	22.5789
Número 4 (200 horas)	22.6987

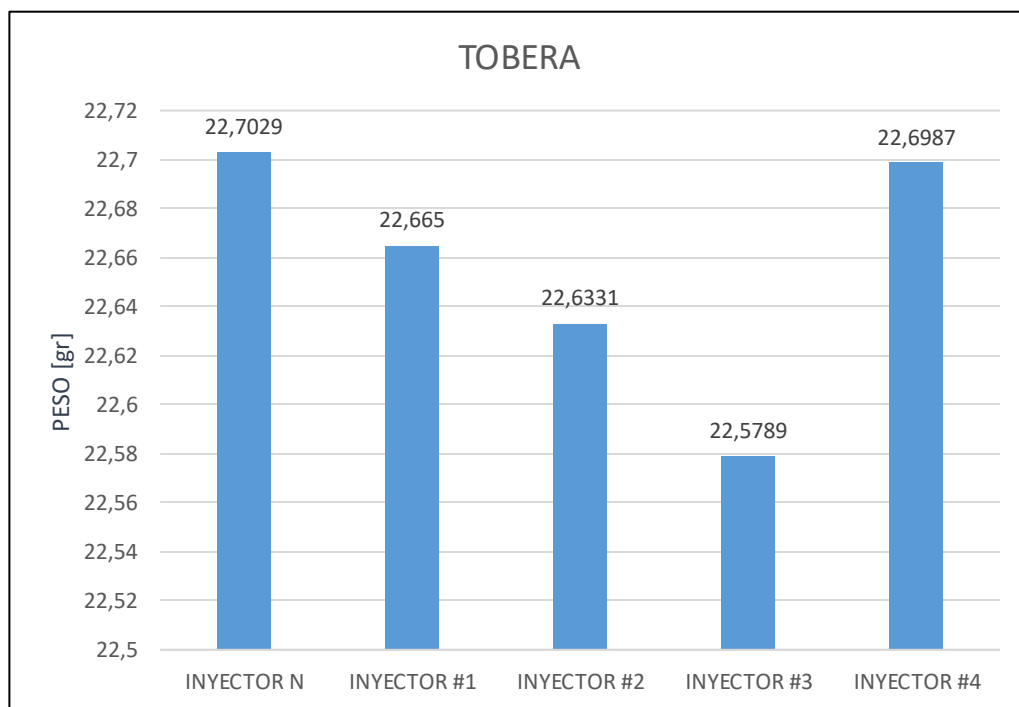


Figura 102. Comparación visual de pesos de tobera.

Con los datos de la figura 102 se establece el promedio de pesos igual a 22,6557gr, valor máximo de 23,7029 gr y el valor mínimo es de 22,5789 gr.

La diferencia entre el valor máximo y el mínimo es de 0,1240 que equivale al 0,5% con respecto al valor promedio.

4.5.3. Comparación de pesos rotor

Tabla 71.

Pesos rotor.

ROTOR	
Inyector	Peso (gr.)
Nuevo	10.3221
Número 1 (50 horas)	10.3271
Número 2 (100 horas)	10.3144
Número 3 (150 horas)	10.3107
Número 4 (200 horas)	10.3039

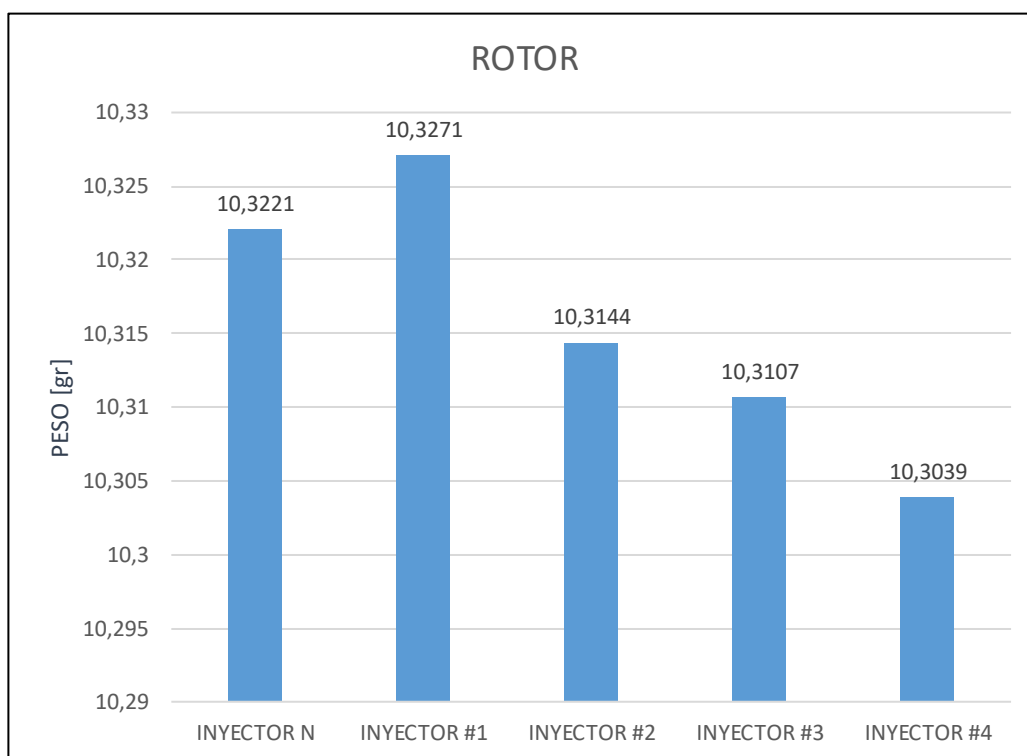


Figura 103. Comparación visual de pesos de rotor.

Con los datos de la figura 103 se establece el promedio de pesos igual a 10,3156 gr, valor máximo de 10,3271 gr y el valor mínimo es de 10,3039 gr.

La diferencia entre el valor máximo y el mínimo es de 0,0232 que equivale al 0,2% con respecto al valor promedio.

4.5.4. Comparación de pesos émbolo de mando

Tabla 72.

Pesos émbolo de mando.

ÉMBOLO DE MANDO	
Inyector	Peso (gr.)
Nuevo	6.3809
Número 1 (50 horas)	6.3703
Número 2 (100 horas)	6.3765
Número 3 (150 horas)	6.3924
Número 4 (200 horas)	6.3936

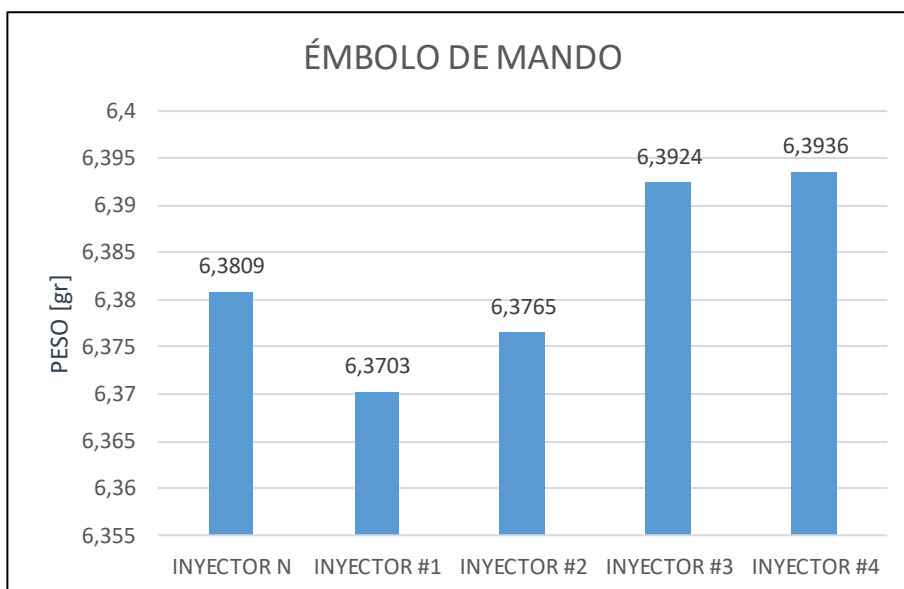


Figura 104. Comparación visual de pesos de émbolo de mando.

Con los datos de la figura 104 se establece el promedio de pesos igual a 6,3827 gr, valor máximo de 6,3936 gr y el valor mínimo es de 6,3703 gr.

La diferencia entre el valor máximo y el mínimo es de 0,0233 que equivale al 0,4% con respecto al valor promedio.

4.5.5. Comparación de pesos aguja

Tabla 73.

Pesos aguja.

AGUJA

CONTINÚA

Inyector	Peso (gr.)
Nuevo	3.3034
Número 1 (50 horas)	3.2993
Número 2 (100 horas)	3.3078
Número 3 (150 horas)	3.3062
Número 4 (200 horas)	3.2997

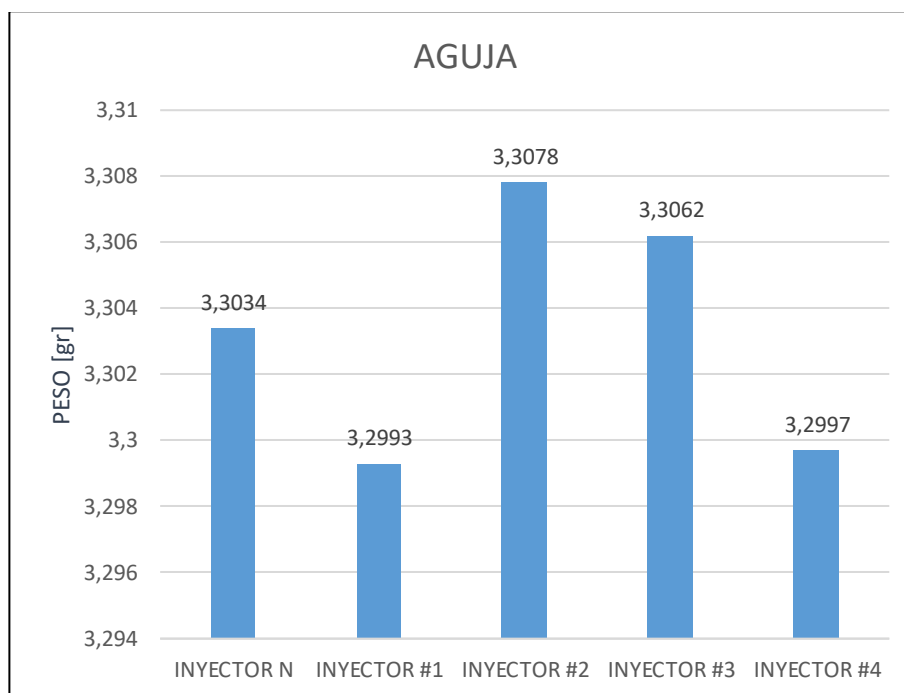


Figura 105. Comparación visual de pesos de aguja.

Con los datos de la figura 105 se establece el promedio de pesos igual a 3,3033 gr, valor máximo de 3,3078 gr y el valor mínimo es de 3,2993 gr.

La diferencia entre el valor máximo y el mínimo es de 0,0085 que equivale al 0,3% con respecto al valor promedio.

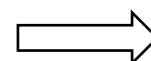
4.5.6. Comparación de pesos resorte tobera

Tabla 74.

Pesos resorte tobera.

RESORTE TOBERA	
Inyector	Peso (gr.)
Nuevo	1.5783
Número 1 (50 horas)	1.6062

CONTINÚA



Número 2 (100 horas)	1.5955
Número 3 (150 horas)	1.5940
Número 4 (200 horas)	1.6023

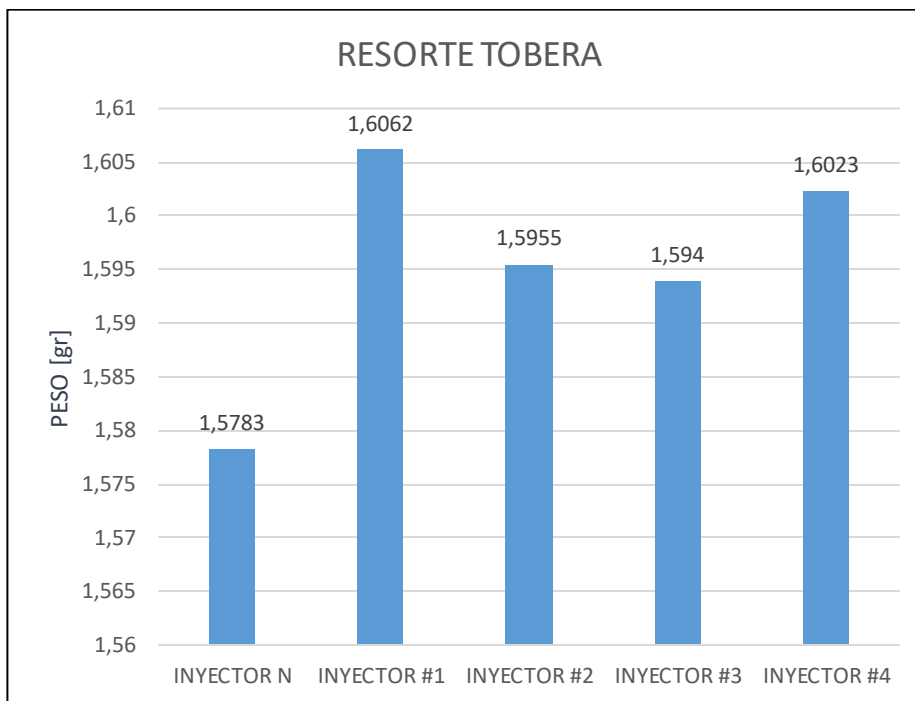


Figura 106. Comparación visual de pesos de resorte tobera.

Con los datos de la figura 106 se establece el promedio de pesos igual a 1,5953 gr, valor máximo de 1,6062 gr y el valor mínimo es de 1,5783 gr.

La diferencia entre el valor máximo y el mínimo es de 0,0279 que equivale al 1,7% con respecto al valor promedio.

4.5.7. Comparación de pesos guía 1

Tabla 75.

Pesos guía 1.

GUÍA 1	
Inyector	Peso (gr.)
Nuevo	0.2755
Número 1 (50 horas)	0.2754
Número 2 (100 horas)	0.2758
Número 3 (150 horas)	0.2751
Número 4 (200 horas)	0.2757

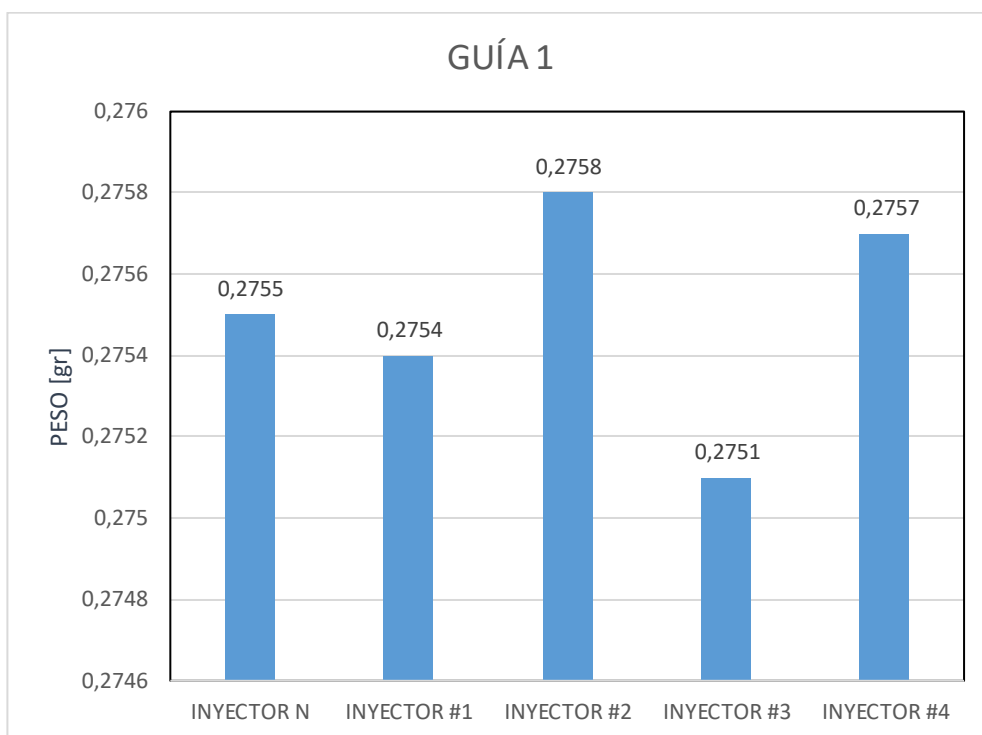


Figura 107. Comparación visual de pesos de guía 1.

Con los datos de la figura 107 se establece el promedio de pesos igual a 0,2755 gr, valor máximo de 0,2758 gr y el valor mínimo es de 0,2751 gr.

La diferencia entre el valor máximo y el mínimo es de 0,0007 que equivale al 0,3% con respecto al valor promedio.

4.5.8. Comparación de pesos guía 2

Tabla 76.

Pesos guía 2.

GUÍA 2	
Inyector	Peso (gr.)
Nuevo	0.2257
Número 1 (50 horas)	0.2752
Número 2 (100 horas)	0.2753
Número 3 (150 horas)	0.2752
Número 4 (200 horas)	0.2746

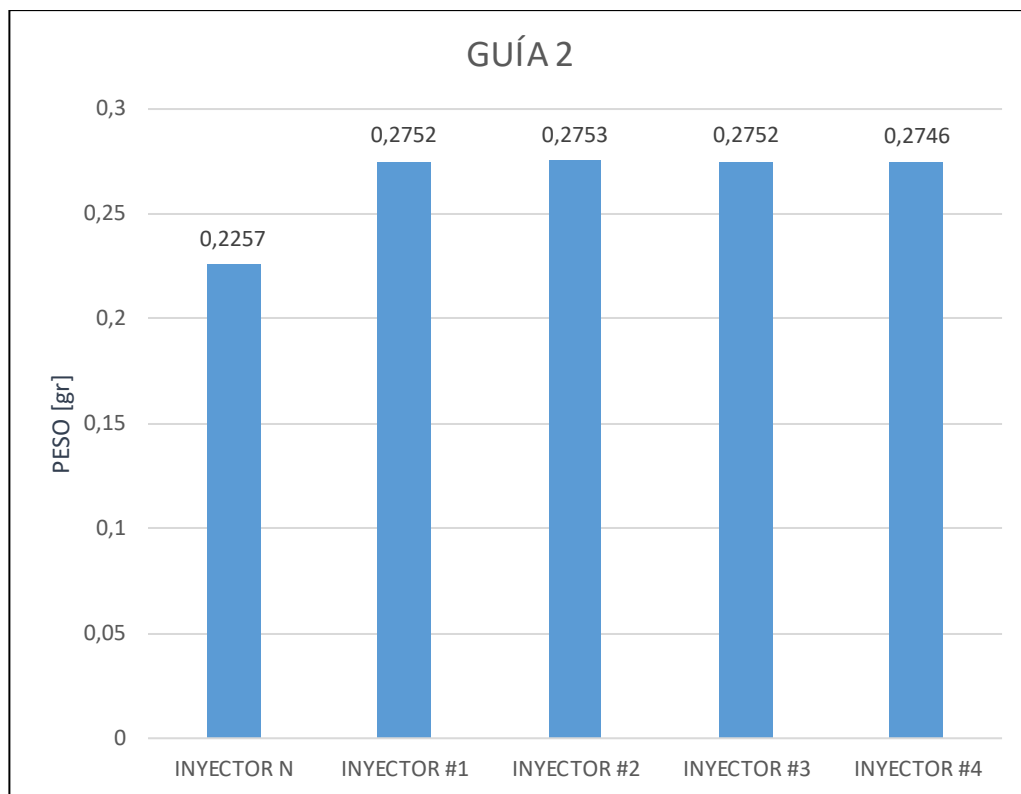


Figura 108. Comparación visual de pesos de guía 2.

Con los datos de la figura 108 se establece el promedio de pesos igual a 0,2652 gr, valor máximo de 0,2753 gr y el valor mínimo es de 0,2257 gr.

La diferencia entre el valor máximo y el mínimo es de 0,0496 que equivale al 18,7% con respecto al valor promedio.

4.5.9. Comparación de pesos arandela inferior

Tabla 77.

Pesos arandela inferior.

ARANDELA INFERIOR	
Inyector	Peso (gr.)
Nuevo	0.3302
Número 1 (50 horas)	0.3213
Número 2 (100 horas)	0.3314
Número 3 (150 horas)	0.3250
Número 4 (200 horas)	0.3304

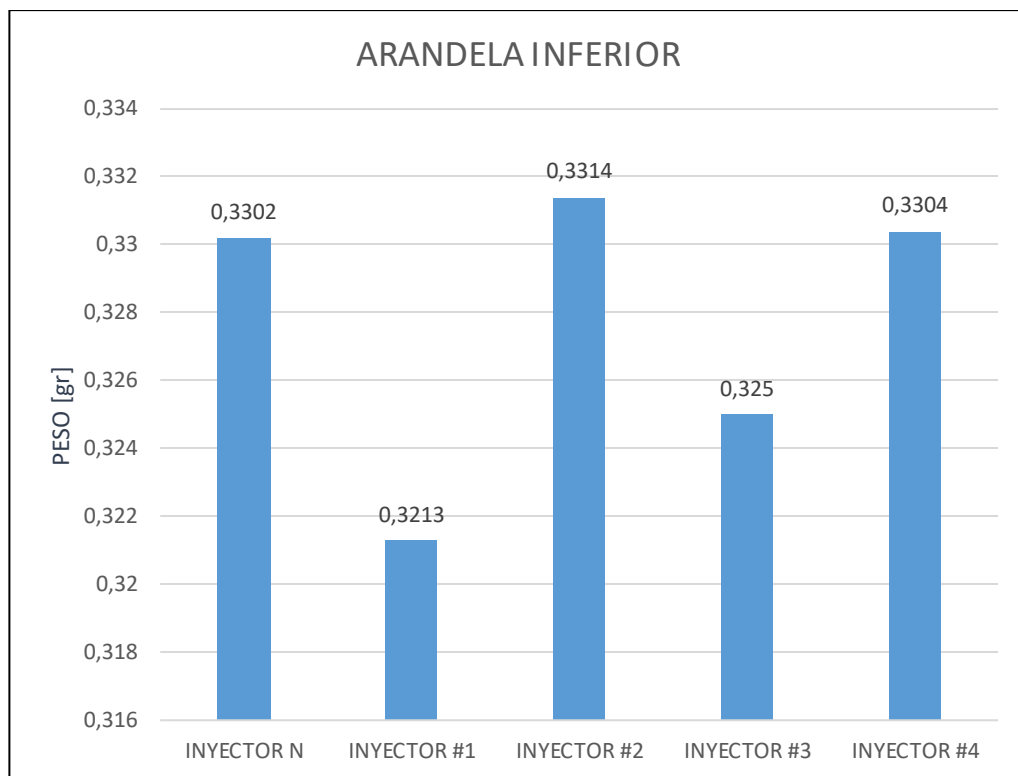


Figura 109. Comparación visual de pesos de arandela inferior.

Con los datos de la figura 109 se establece el promedio de pesos igual a 0,3276 gr, valor máximo de 0,3314 gr y el valor mínimo es de 0,3213 gr.

La diferencia entre el valor máximo y el mínimo es de 0,0101 que equivale al 3% con respecto al valor promedio.

4.5.10. Comparación de pesos arandela superior

Tabla 78.

Pesos arandela superior.

ARANDELA SUPERIOR	
Inyector	Peso (gr.)
Nuevo	0.6604
Número 1 (50 horas)	0.6600
Número 2 (100 horas)	0.6598
Número 3 (150 horas)	0.6579
Número 4 (200 horas)	0.6587

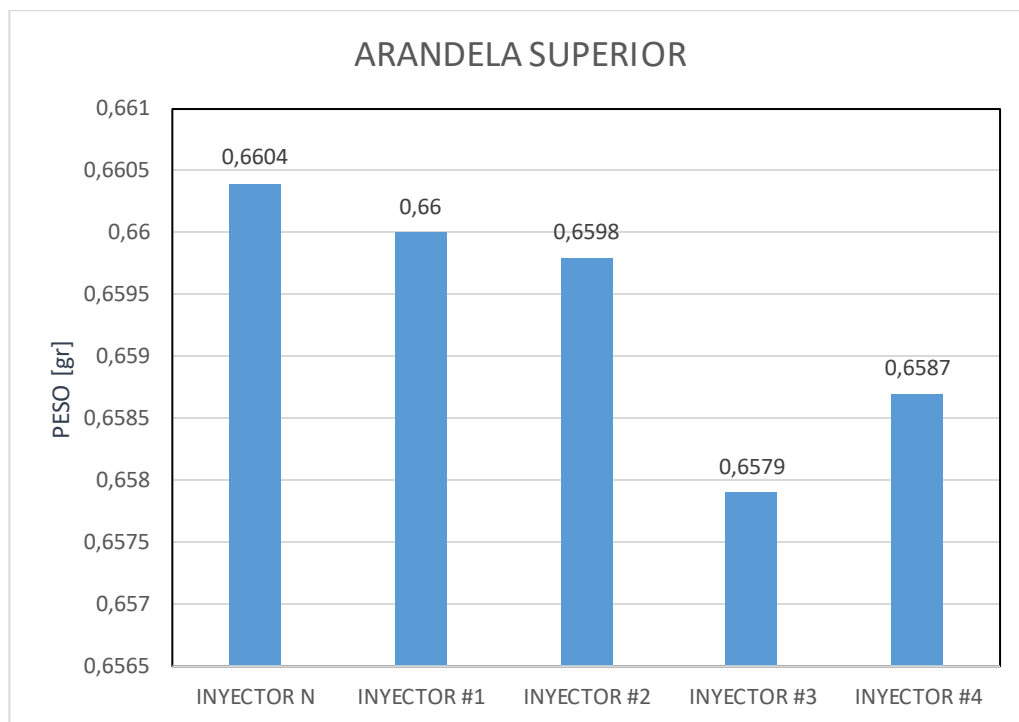


Figura 110. Comparación visual de pesos de arandela superior.

Con los datos de la figura 110 se establece el promedio de pesos igual a 0,6594 gr, valor máximo de 0,6604 gr y el valor mínimo es de 0,6579 gr.

La diferencia entre el valor máximo y el mínimo es de 0,0025 que equivale al 0,4% con respecto al valor promedio.

4.5.11. Comparación de pesos pistón de empuje

Tabla 79.

Pistón de empuje.

PISTÓN DE EMPUJE	
Inyector	Peso (gr.)
Nuevo	1.6686
Número 1 (50 horas)	1.6648
Número 2 (100 horas)	1.6649
Número 3 (150 horas)	1.6669
Número 4 (200 horas)	1.6667

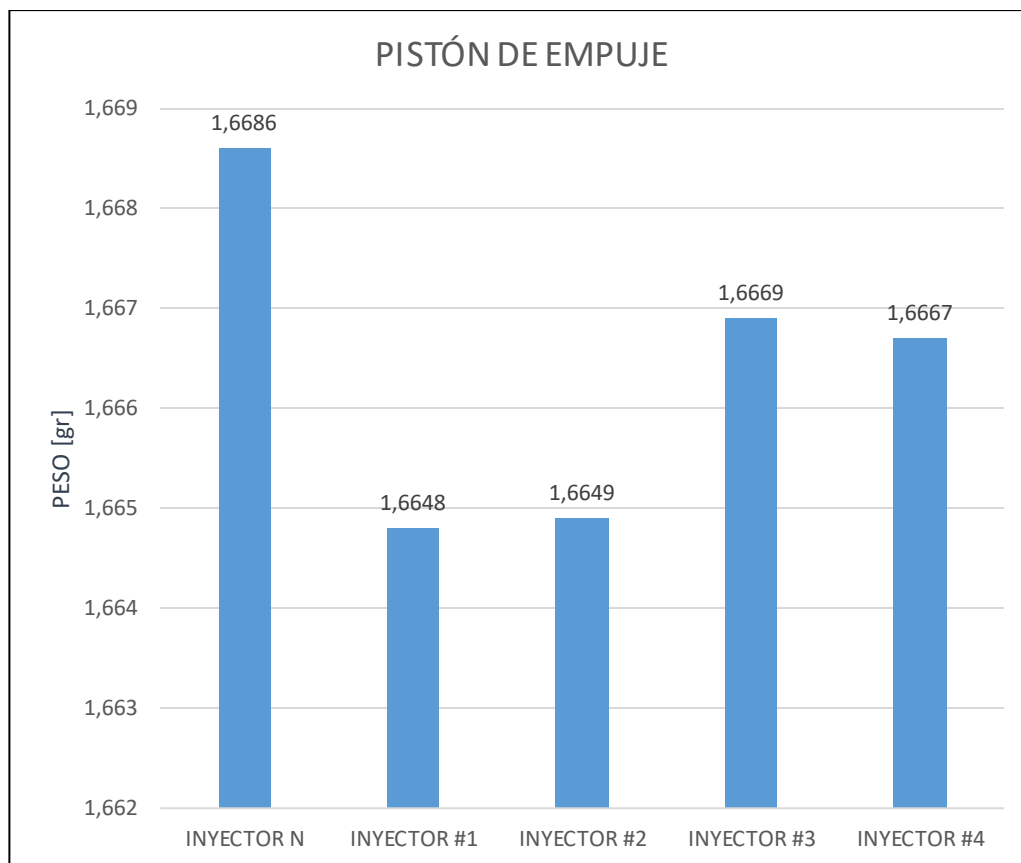


Figura 111. Comparación visual de pesos de pistón de empuje.

Con los datos de la figura 111 se establece el promedio de pesos igual a 1,6664 gr, valor máximo de 1,6686 gr y el valor mínimo es de 1,6648 gr.

La diferencia entre el valor máximo y el mínimo es de 0,0038 que equivale al 0,2% con respecto al valor promedio.

4.5.12. Comparación de pesos resorte bobina

Tabla 80.

Resorte bobina.

RESORTE BOBINA	
Inyector	Peso (gr.)
Nuevo	0.6545
Número 1 (50 horas)	0.6548
Número 2 (100 horas)	0.6558
Número 3 (150 horas)	0.6564
Número 4 (200 horas)	0.6538

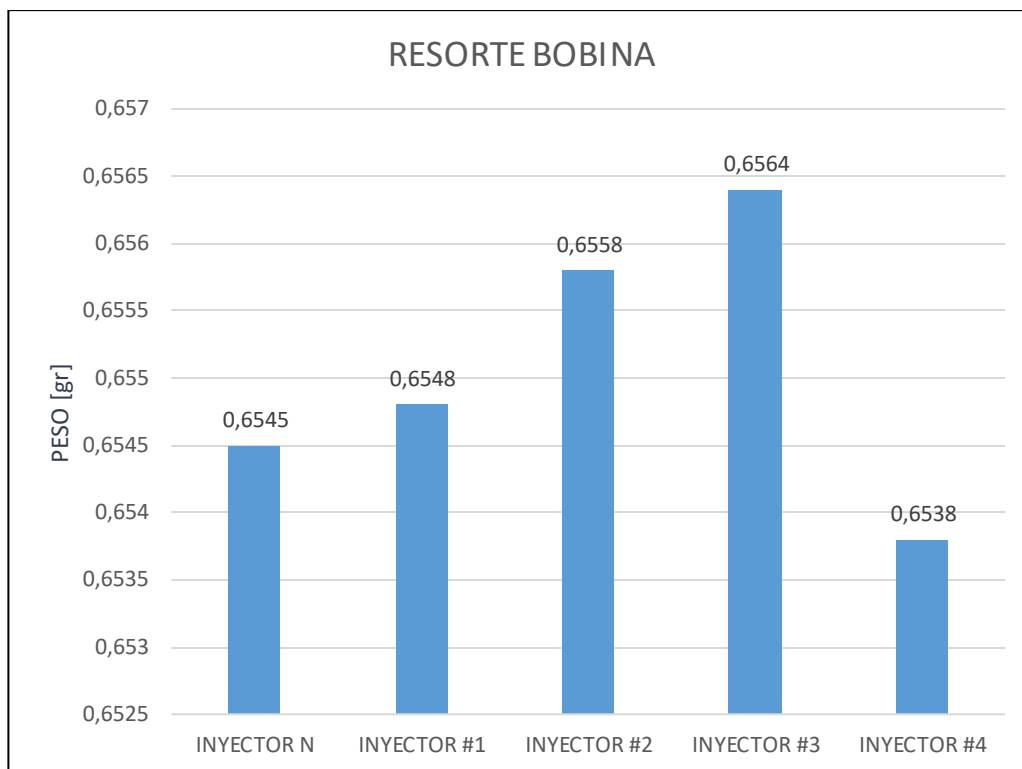


Figura 112. Comparación visual de pesos de resorte de bobina.

Con los datos de la figura 112 se establece el promedio de pesos igual a 0,6551gr, valor máximo de 0,6564 gr y el valor mínimo es de 0,6538 gr.

La diferencia entre el valor máximo y el mínimo es de 0,0016 que equivale al 0,2% con respecto al valor promedio.

4.5.13. Comparación de pesos válvula solenoide

Tabla 81.

Pesos válvula solenoide.

VALVULA SOLENOIDE	
Inyector	Peso (gr.)
Nuevo	3.2979
Número 1 (50 horas)	3.2829
Número 2 (100 horas)	3.2843
Número 3 (150 horas)	3.2982
Número 4 (200 horas)	3.2849

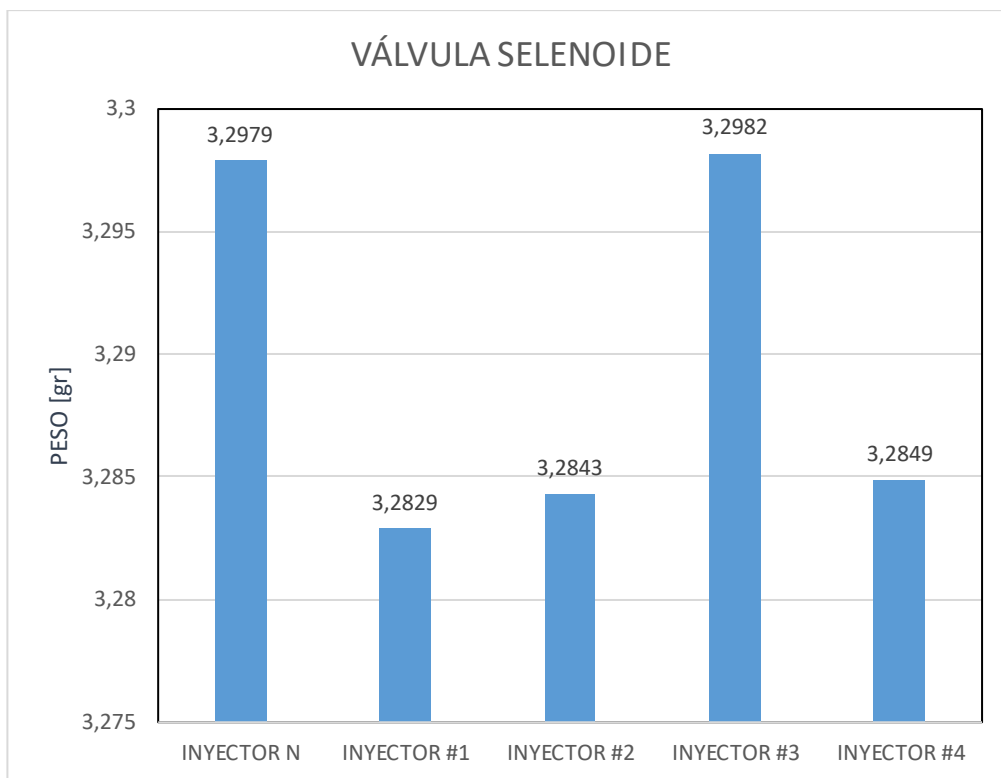


Figura 113. Comparación visual de pesos de válvula solenoide.

Con los datos de la figura 113 se establece el promedio de pesos igual a 3,2896 gr., valor máximo de 3,2982 gr y el valor mínimo es de 3,2829 gr.

La diferencia entre el valor máximo y el mínimo es de 0,0153 que equivale al 0,5% con respecto al valor promedio.

4.5.14. Comparación de pesos anillo de calibración

Tabla 82.

Pesos anillo de calibración.

ANILLO DE CALIBRACION	
Inyector	Peso (gr.)
Nuevo	1.2484
Número 1 (50 horas)	1.2508
Número 2 (100 horas)	1.2344
Número 3 (150 horas)	1.2600
Número 4 (200 horas)	1.2640

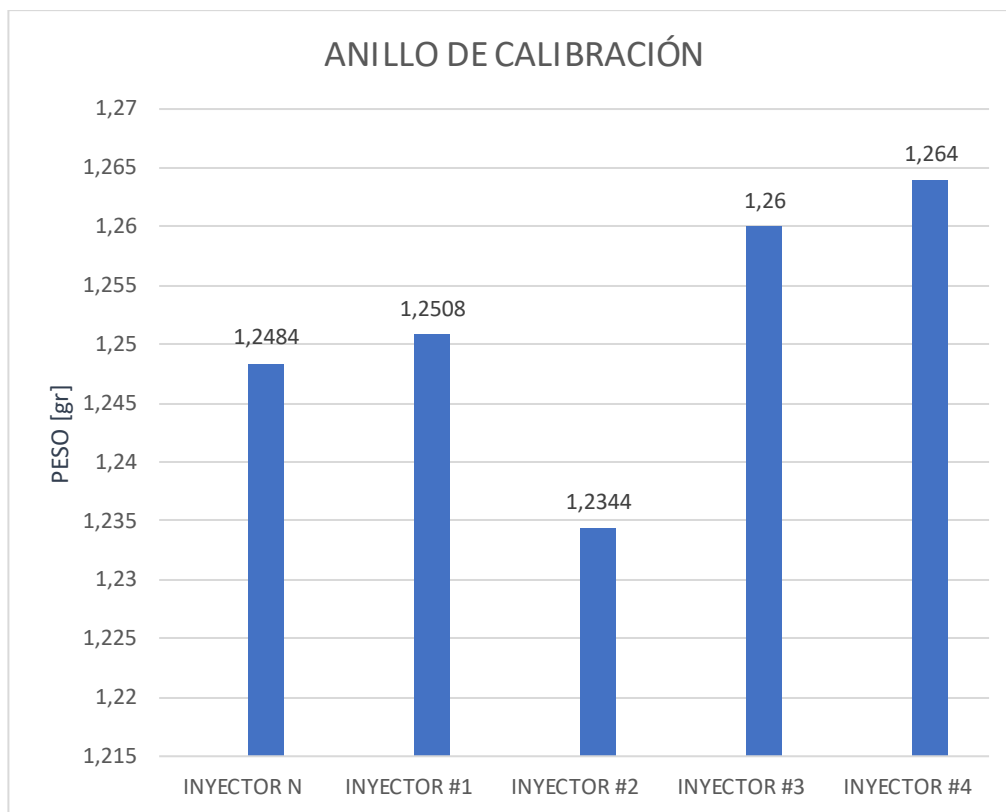


Figura 114. Comparación visual de pesos de aro de calibración.

Con los datos de la figura 114 se establece el promedio de pesos igual a 1,2515 gr., valor máximo de 1,2640 gr y el valor mínimo es de 1,2344 gr.

La diferencia entre el valor máximo y el mínimo es de 0,0296 que equivale al 2,4% con respecto al valor promedio

4.5.15. Comparación de pesos arandela de calibración

Tabla 83.

Pesos arandela de calibración.

ARANDELA DE CALIBRACIÓN	
Inyector	Peso (gr.)
Nuevo	0.0744
Número 1 (50 horas)	0.0741
Número 2 (100 horas)	0.0739
Número 3 (150 horas)	0.0767
Número 4 (200 horas)	0.0762

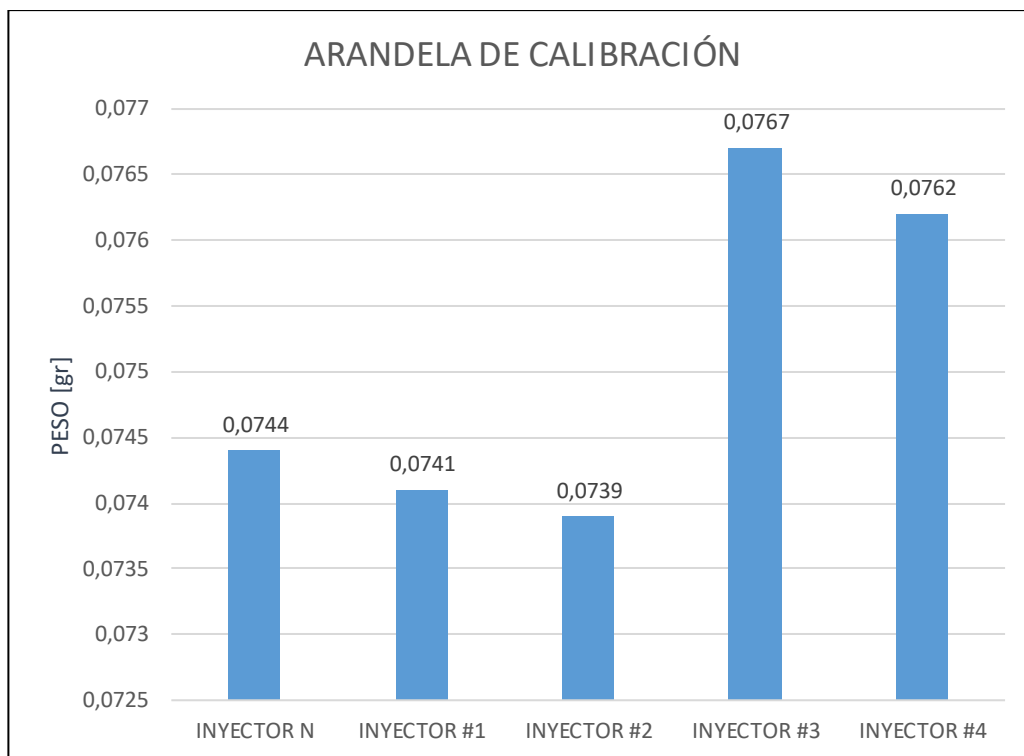


Figura 115. Comparación visual de pesos de arandela de calibración.

Con los datos de la figura 115 se establece el promedio de pesos igual a 0,0751 gr., valor máximo de 0,0767 gr. y el valor mínimo es de 0,0739 gr.

La diferencia entre el valor máximo y el mínimo es de 0,0028 que equivale al 3,7% con respecto al valor promedio

CAPÍTULO V

5. MARCO ADMINISTRATIVO

5.1. Recursos

En este capítulo se detalla el desarrollo de la investigación llevando estrictamente un orden cronológico de tal manera que permite analizar y optimizar los recursos aplicados para el éxito de la misma: humanos, tecnológicos, materiales y financieros para para el desarrollo de la investigación.

5.1.1. Recursos humanos

La ejecución de la investigación “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”, fue encaminada por los señores:

Tabla 84.

Colaboradores de la investigación.

ORD.	NOMBRE	FUNCION	CARRERA / DEPARTAMENTO
01	Sr. Ricardo Analuisa	Investigador	Ingeniería Automotriz
02	Sr. Geovanni Viscaino	Investigador	Ingeniería Automotriz
03	PhD. Marcos Gutiérrez	Director de Tesis. Director SAEM R&D	Ciencias Energía y Mecánica
04	Ing. Germán Erazo	Colaborador SAEM R&D	Ciencias Energía y Mecánica
05	Ing. Caterine Donoso	Colaboradora SAEM R&D	Ciencias Energía y Mecánica
06	Dr. Miguel Villa	Jefe Laboratorio Química	Ciencias Exactas
07	Ing. Mosquera	Laboratorista Ciencia de Materiales	Ciencias Energía y Mecánica

Es importante destacar el asesoramiento del Dr. Marcos Gutiérrez en calidad de director del proyecto de investigación y ejecución del proyecto, así como los demás docentes que han participado de forma directa o indirecta en el desarrollo y culminación de la misma.

5.1.2. Recursos tecnológicos

Para poder cumplir con la ejecución del proyecto de investigación fue indispensable el uso de materiales y equipos tecnológicos tales como:

Tabla 85.

Recursos tecnológicos

ORD.	NOMBRE
1	Multímetro automotriz
2	Cámara fotográfica
3	Comprobador de inyectores Zapp D52R-A
4	Microscopio invertido Meiji 7000
5	Rugosímetro tester 6200
6	Balanza analítica Adam PW254
7	Computador
8	Celular

5.1.3. Recursos materiales

Engloba los elementos tangibles que se necesitan para para desarrollar la investigación, estos son:

Tabla 86.

Recursos materiales

ORD.	NOMBRE
1	Banco para comprobación de inyectores diésel: Denso, Delphi y Bosch del sistema CDRI
2	Inyectores denso 6521
3	Módulo de control de pulsos de inyectores.
4	Intercambiador de calor
5	Recipiente contenedor de mezcla combustible
6	Bomba de alta presión
7	Riel de inyectores
8	Cañerías de alta presión

5.2. Análisis de costos de la investigación

Para el desarrollo de la investigación se debe considerar el costo total del mismo conformado por: materiales para la obtención de mezcla combustible, elementos para adecuación del banco simulador de pruebas, costo de inyectores como elemento principal de investigación, costo de pruebas de comprobación de inyectores, costo de pruebas de rugosidad y costos generales.

5.2.1. Costos de obtención de mezcla combustible

Para la obtención de la mezcla combustible es necesario realizar un procedimiento adecuado de destilación utilizando equipos de laboratorio y elementos nuevos libres de contaminación, a continuación, el detalle de los mismos:

Tabla 87.

Costo de obtención de mezcla combustible.

Descripción	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Aceite Sintético Usado	6 Gal.	1	\$6
Recipientes Plásticos 1Gal.	4	2	\$8
Recipiente para mezcla 10 Gal.	1	18	\$18
Filtro 190 micras	8	0.19	\$1.52
Filtro 125 micras	8	0.19	\$1.52
Papel Filtro pliego	4	1	\$4
Termómetro mercurio 20-360 °C	2	12.55	\$25.11
Guante nitrilo verde	1	3.48	\$3.48
Equipos de laboratorio (balón volumétrico, cabeza de destilación, corchos de caucho, teflón.)	1	110	\$110
TOTAL			\$177.63

5.2.2. Costos de adecuación de simulador de prueba

Es importante mencionar que banco para comprobación de inyectores diésel: Denso, Delphi y Bosch del sistema CDRI de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE extensión Latacunga fue diseñado y construido con el fin específico de comprobar un solo inyector, por tal motivo se vio obligado

a la adecuación del mismo para poder desarrollar nuestra investigación, las adecuaciones más importantes son el módulo de control de pulsos de inyección, el elemento principal de investigación inyector denso 6521 y adecuaciones generales para el sistema de recirculación de la mezcla combustible.

Tabla 88.

Costos de adecuación de banco simulador de pruebas.

Descripción	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Inyectores Denso 6521	5	300	\$1500
Sockets conexión Inyectores	4	20	\$80
Modulo electrónico controlador de pulsos	1	120	\$120
Fuente de alimentación de módulo.	1	25	\$25
Recipiente Vidrio Mezcla Combustible	1	25	\$25
Cañerías	4	5	\$20
Enfriador de Combustible	1	50	\$50
TOTAL			\$1820

5.2.3. Costos de pruebas de inyectores

Finalizado el protocolo de pruebas usando mezcla combustible a partir de aceite lubricante sintético de motor usado se continua la investigación con las pruebas de funcionamiento y análisis superficial de los elementos del inyector denso 6521.

Tabla 89.

Costo de pruebas de inyectores.

Descripción	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Prueba de funcionamiento de Inyectores Garner Espinoza S.A.	5	20.15	\$100.75
Prueba de Rugosidad.	1	100	\$100
Norma INEN-ISO 12156-1.	1	22.50	\$22.50
TOTAL			\$223.25

5.2.4. Costo total de la investigación

A los gastos ya mencionados se debe añadir los gastos de movilización de los investigadores, así como recursos de oficina utilizados a lo largo de la investigación.

Tabla 90.

Costo total de la investigación.

Descripción	Valor total
Costo Obtención Mezcla Combustible.	\$177.63
Costo Adecuación Simulador de Pruebas.	\$1820
Costo de Pruebas de Inyectores.	\$223.25
Costo de movilización Investigadores.	\$150
Material de Oficina	\$100
TOTAL	\$2470.88

5.2.5. Financiamiento

El financiamiento de la obtención de mezcla combustible, la adecuación del simulador de pruebas, las pruebas de inyectores, el costo de movilización y el material bibliográfico fue costado en su totalidad por parte de los investigadores: Ricardo Santiago Analuisa Tipantuña y Edison Geovanni Viscaino de la Cruz.

5.3. Cronograma

El cronograma muestra en detalle cada una de las fases para el desarrollo y culminación total del proyecto de investigación.

(Anexo 1).

CONCLUSIONES

Al finalizar la investigación del análisis de durabilidad de los principales elementos internos del inyector denso 6521 del sistema CDRI al trabajar con mezcla combustible obtenida a partir de aceite lubricante sintético de motor usado, para el desarrollo de la misma se en períodos de 50, 100, 150 y 200 horas de trabajo respectivamente, se presentan las siguientes conclusiones con el propósito de que sean consideradas por quienes utilicen este documento como fuente de consulta.

- Se analizó la durabilidad de los materiales de fabricación del inyector Denso 6521 del sistema de inyección CRDI al trabajar con mezcla combustible obtenido a partir del aceite de motor sintético reciclado para determinar la factibilidad en su aplicación como combustible en el sistema de inyección CRDI.
- Se obtuvo la información teórica de fuentes confiables para el desarrollo y ejecución del proyecto de investigación.
- Se obtuvo la mezcla combustible, aplicando el proceso establecido en investigaciones anteriores.
- Se realizó el protocolo de pruebas de durabilidad con mezcla combustible en los inyectores Denso 6521 en intervalos de 50, 100, 150 y 200 horas de funcionamiento con mezcla combustible.
- Se realizó las pruebas eléctricas de inductancia y resistencia a la bobina, volumen de inyección a carga completa, carga parcial, carga baja y volumen de retorno en los inyectores denso 6521.
- Se visualizó la superficie de los elementos de los inyectores mediante un Microscopio Invertido.
- Se verificó el estado de la superficie de los inyectores mediante valores rugosidad.
- Se determinó los pesos de los elementos del inyector mediante balanza analítica.
- Se analizó la durabilidad de los elementos del inyector al trabajar con mezcla combustible a partir de aceite de motor reciclado mediante comparación de medidas.

- Se estableció la factibilidad del uso de mezcla combustible a partir de aceite de motor reciclado como fuente de energía alternativa.
- El test de inductancia y resistencia al cual fueron sometidas las bobinas de activación de los inyectores indican parámetros de funcionamiento normales lo cual indica que no incide la mezcla combustible en el sector eléctrico del inyector.
- El test a plena carga contempla parámetros de volumen de entrega fuera de los rangos en el inyector #1 que excede con 4.81 mm^3 respecto al inyector con cero horas de funcionamiento provocados por un asiento incorrecto entre la aguja del inyector y la tobera.
- Dentro del análisis de volumen de inyección y retorno se determina rangos de trabajo aceptables lo cual determina la viabilidad del uso de mezcla combustible a base de aceite de motor usado en sistemas de inyección CRDI.
- Dentro del análisis visual a los elementos del inyector se determina una homogeneidad lo cual ratifica rangos de trabajo normales de cada parte analizada.
- El análisis microscópico del embolo de mando y la aguja del inyector determina rangos de desgaste normales según la norma ISO 12156-1 que determina una marca de desgaste menor a $460 \mu\text{m}$ en los sectores de mayor incidencia.
- El análisis microscopio del agujero de la tobera en los inyectores no presenta deformación por desprendimiento de material en la periferia del mismo.
- El análisis de rugosidad determina un grado de rugosidad N4 para los elementos de mayor exigencia como son el embolo de mando y la aguja del inyector que corresponde a superficies de alta presión según parámetro de rugosidad de superficies.
- El análisis de pérdida de material en los elementos del inyector por diferencia de pesos no demuestra desgaste, manteniendo un porcentaje de pérdida mínimo.

RECOMENDACIONES

- El equipo de seguridad industrial es obligatorio durante el desarrollo de la investigación, este equipo está formado por: guantes G80 de nitrilo resistentes a químicos ideales, guantes resistentes a altas temperaturas hechos a base de aramida, gafas protectoras, mascarilla con filtro para vapores orgánicos y gases ácidos 9-243, mandil.
- Antes de realizar cualquier medición se debe calibrar el equipo a utilizarse según las condiciones dadas por el fabricante.
- El uso de los equipos debe regirse a lo establecido en la guía del laboratorio para la práctica específica.
- Se debe utilizar las herramientas adecuadas para evitar daños en las superficies de los elementos tanto del inyector como del banco comprobador de inyectores.
- En desarrollo de las pruebas de durabilidad se debe controlar la temperatura de la mezcla combustible para evitar picos de presión en el sistema por cuestiones de densidad del fluido.
- Para la manipulación de los elementos internos del inyector se debe emplear guantes estériles con el fin de no contaminar los elementos.
- Los elementos deben estar libre de impurezas y humedad para evitar lecturas erróneas en la medición de su peso.
- Continuar con la investigación introduciendo nuevas pruebas de durabilidad de materiales y análisis de aceites posterior a su aplicación.
- Desarrollar nuevas investigaciones a distintas marcas de inyectores aplicando los protocolos establecidos en esta investigación para comparación y análisis de resultados.

BIBLIOGRAFÍA

- Alonso, J. (1997). *Técnicas del automovil motores*. Valladolid: Paraninfo.
- Alonso, J. (2001). *Técnicas del Automovil: Sistema de Inyección de Combustible en los motores Diesel*. Madrid: Thomson Editores.
- Auria Apilluelo, J., Ibáñez Carabantes, P., & Ubieta Artur, P. (2005). *Dibujo Industrial Conjuntos y Despieces*. Madrid: Thomson.
- Besante, F., & Jubera, M. (1985). *Tecnología del Automóvil*. Barcelona: Reverte.
- Bosch. (2005). *Manual de la Técnica del Automóvil*. Alemania: BOSCH.
- Bosch GmbH, R. (2002). *Regulación electrónica Diesel (EDC)*. Alemania: Bosch.
- Bosch GmbH, R. (2005). *Sistemas de inyección Diesel por acumulador Common Rail*. Alemania.
- Buelva, G. (1995). *Propuesta de diseño y construcción de un sistema de lavado y purificado de gases de combustión, en planta piloto; método de absorción-adsorción*. México, D.F.: Mc Granw Hill.
- De Castro, M. (2003). *Manual ceac del automóvil*. Barcelona: CEAC.
- Common Position Statement. (2009). *Fuel Requirements for Diesel Fuel Injection Systems*.
- Denso. (2007). *Common rail system (crs)*. Japón: Denso Corporation.
- Denso. Diesel common rail systems. *Denso heavy duty*, 2.
- Hinojosa Rivera, M., & Reyes Melo, M. E. (2011). La rugosidad de las superficies: Topometría. *Ingenierías*, 27-30.
- INEN NTE, 1. (2002). *Productos Derivados del Petróleo. Diésel. Requisitos*. Quito: INEN.
- INEN-ISO. (2006). *Evaluación de la lubricidad en un aparato con movimiento alternativo de alta frecuencia (HFRR)*. Quito: INEN.
- M., E.-F., & Khoury, R. (2001). Strategies for vehicle waste-oil management: A case of study. Resources. *Conservation and Recycling* 33, 75–91.
- M., E.-F., & Khoury, R. (2011). Strategies for vehicle waste-oil management: A case of study. Resources. *Conservation and Recycling* 33, 75–91.

- Manufactures Diesel Fuel Injection Equipmment. (2009). Fuel Requirements for Diesel Fuel Injections Systems. *Common Position Statement*, (pág. 4).
- Martinez, F. (2011). *Tribología Integral*. México, D.F.: Limusa.
- Payri, F., & Desantes, J. M. (2012). *Diagnóstico de Motores Diésel mediante el análisis de aceite usado*. Barcelona: Reverté S.A.
- Pérez Acevedo, M. (2005). *Desgaste por rodadura y deslizamiento en componentes mecánicos*. Cuba: UCLV.
- Ruiz, R. (2007). *El Método Científico y sus Etapas*. México, D.F.: Mc Granw Hill.
- Salinas Carvajal, D. A., & Villavicencio Ramos, J. D. (2013). *Diselo y construccion mecanica de un banco para la comprobacion de inyectoros diesel: denso, delphi y bosch del sistema crdi*. Latacunga.
- Smith, W., & Hashemi, J. (2006). *Fuendamentos de la ciencia e ingenieria de materiales*. México, D.F.: Mc Granw Hill.
- Streitwieser, D. A., Guzmán, F. J., & Ortega, B. A. (2010). Conversión de aceite lubricante usado de automóviles a Diesel #2. *Laboratorio de Desarrollo de energias alternativas*.
- Vallejo , E. (2015). *Motores a Explosion y Motores Diesel*.
- Zapata Pemberthy, L. (2010). *Caracterización de los procesos de Inyección-Combustión Diesel mediante Visualización y procesado digital de imagenes*. Valencia.

NETGRAFÍA

- ADAM EQUIPMENT COMPANY. (Septiembre de 2007). *PW SERIES*.
Obtenido de [adamequipment.com](http://www.adamequipment.com/):
<http://www.adamequipment.com/pdf/130.pdf>: [Recuperado el
11/10/2016]
- Almeida, D., Játiva, F., & B. Aguirre. (4 de Octubre de 2011). *Conversión de
aceite lubricante usado de automóviles a Diesel #2*. Obtenido de
ESPE.EDU:
http://www.espe.edu.ec/porta/files/sitio_congreso_2011/papers/M2.pdf
f: [Recuperado el 13/10/2016]
- CARBON ZAPP. (2015). *Automotive Injection Service Solutions*. Obtenido de
Carbonzapp.com: [http://carbonzapp.com/wp-
content/uploads/2013/07/CZ-2014-2015-Product-Brochure.pdf](http://carbonzapp.com/wp-content/uploads/2013/07/CZ-2014-2015-Product-Brochure.pdf):
[Recuperado el 10/11/2016]
- Díaz, F. (2007). *Tribología: Fricción, Desgaste y Lubricación*. Obtenido de
Facultad de Estudios Superiores Cautitlán:
<http://profefelipe.mex.tl/imagesnew/4/6/9/5/1/TRIBOLOGIA.pdf>:
[Recuperado el 15/11/2016]
- GRUPO TECNOLOGIA MECANICA. (2010). *Procesos de Fabricacion
Rugosidad Superficial*. Obtenido de Facultad de Ingenieria.
Universidad Mar del Plata:
<http://www3.fi.mdp.edu.ar/tecnologia/archivos/TecFab/10.pdf>:
[Recuperado el 15/11/2016]
- Meiji Techno Company. (s.f.). *Inverted Microscope Instruction Manual*.
Obtenido de Meijitechno.com:
http://meijitechno.com/pdfs/IM7000_manual.pdf: [Recuperado el
22/11/2016]
- Rodríguez , G., & Ribeiro, M. (2000). *Estudio comparado entre el combustible
diesel y el biodiesel*. Obtenido de
savoiapower.com/Biodiesel%20vs%20Diesel.pdf

ANEXOS

Anexo No. 1.
Cronograma de Actividades

Anexo No. 2.
Informe Garner Espinosa

Anexo No. 3.
Informe Rugosidad

Anexo No. 4.

Cronograma de uso Banco

Comprobador de Inyectores

CDRI- ESPE



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

CERTIFICACIÓN

Se certifica que el presente trabajo fue desarrollado por los Señores Ricardo Santiago Analuisa Tipantuña y Edison Geovanni Viscaino de la Cruz bajo nuestra supervisión.

