



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 DESGASTE DE LAS TOBERAS DE LOS
INYECTORES DE SISTEMAS CRDI A TRAVÉS EL USO DEL
RUGOSÍMETRO**

**AUTORES: CHRISTIAN JAVIER LARA SANCHEZ
LUIS GABRIEL MONTEROS MONTENEGRO**

DIRECTOR: ING. LUIS MENA

LATACUNGA

2016



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

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, “**ANÁLISIS DE DESGASTE DE LAS TOBERAS DE LOS INYECTORES DE SISTEMAS CRDI A TRAVÉS EL USO DEL RUGOSÍMETRO**” realizado por los señores: **CHRISTIAN JAVIER LARA SANCHEZ** y **LUIS GABRIEL MONTEROS MONTENEGRO**, ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software antiplagio, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar a los señores **CHRISTIAN JAVIER LARA SANCHEZ** y **LUIS GABRIEL MONTEROS MONTENEGRO** para que lo sustenten públicamente.

Latacunga, 09 de diciembre de 2016

LUIS ANTONIO MENA NAVARRETE
DIRECTOR



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

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, **CHRISTIAN JAVIER LARA SANCHEZ**, con cédula de identidad N° 020176746-4, y **LUIS GABRIEL MONTEROS MONTENEGRO**, con cédula de identidad N° 171500610-0, declaramos que este trabajo de titulación “**ANÁLISIS DE DESGASTE DE LAS TOBERAS DE LOS INYECTORES DE SISTEMAS CRDI A TRAVÉS DEL USO DEL RUGOSÍMETRO**” ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaramos que este trabajo es de nuestra autoría, en virtud de ello nos declaramos responsables del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

Latacunga, 09 de diciembre del 2016

Christian Javier Lara Sanchez

C.C.: 020176746-4

Luis Gabriel Monteros Montenegro

C.C.: 171500610-0



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

AUTORIZACIÓN

Nosotros, **CHRISTIAN JAVIER LARA SANCHEZ** y **LUIS GABRIEL MONTEROS MONTENEGRO**, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en la biblioteca Virtual de la institución el presente trabajo de titulación “**ANÁLISIS DE DESGASTE DE LAS TOBERAS DE LOS INYECTORES DE SISTEMAS CRDI A TRAVÉS DEL USO DEL RUGOSIMETRO**” cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra autoría y responsabilidad.

Latacunga, 09 de diciembre del 2016

Christian Javier Lara Sanchez

C.C.: 020176746-4

Luis Gabriel Monteros Montenegro

C.C.: 171500610-0

DEDICATORIA

Dedico este trabajo principalmente a Dios por permitirme llegar a este momento tan especial en mi vida; a mis padres los cuales que con su esfuerzo y perseverancia han logrado formarme como persona y profesional; a mis hermanos quienes han compartido toda mi vida estudiantil, a mis abuelitos y tío quienes desde lejos han sabido brindarme su apoyo incondicional para no darme por vencido y lograr este objetivo, a todos ustedes va dedicado este logro tan importante en mi vida.

Christian Javier Lara Sanchez

DEDICATORIA

A mis padres, los cuales han estado siempre conmigo apoyándome en mi vida, tanto en las buenas y malas, en lo personal y estudiantil; a mi hermano que con sus consejos siempre me brindó ayuda en todo ese trajín universitario y familiar; finalmente y sin restar importancia a mi hermana, mi cuñado y mi sobrino que siempre han estado a mi lado animándome a dar por cumplido esta investigación; a todos ellos va dedicado este logro que no solo es mío, es de toda mi familia.

Luis Gabriel Monteros Montenegro

AGRADECIMIENTO

Un agradecimiento especial a mi tutor de tesis el Ing. Luis Mena Navarrete, quien ha sabido dedicarnos el tiempo necesario para compartir sus valiosos conocimientos en el proyecto, y poder culminar de manera satisfactoria la carrera universitaria.

Al Ing. Stalin Mena quien a más de ser un buen docente ha sido nuestro colaborador en el proyecto de investigación, y gracias a su aporte se ha podido culminar dicho proyecto.

Al Ing. Danilo Zambrano, quien como director de la carrera de ingeniería Automotriz ha sabido colaborarnos en todo aspecto para la culminación del proyecto de investigación.

Al Sr. Marco Benalcázar propietario y gerente general del laboratorio “Servidiésel Benalcázar” que nos aportado con su conocimiento y prestaciones de servicio para el desarrollo y cumplimiento de las metas de nuestro proyecto de titulación.

AGRADECIMIENTO

Este trabajo de investigación no podría darse por bien finalizado, si no hubiese sido por la acogida y el tiempo de invertido para guiarnos con sus conocimientos en el proyecto, por parte de mi director de investigación, el Ing. Luis Antonio Mena Navarrete, el cual fue fundamental en este trabajo expuesto.

Además quiero agradecer la ayuda de mi colaborador científico el Ing. Stalin Mena, quien supo brindar apoyo y guía para poder culminar el trabajo investigativo presente, asimismo de ser un buen profesional y excelente persona.

Al Ing. Danilo Zambrano, el cual cumple las funciones de director de la carrera de Ingeniería Automotriz; quien además de ser un buen instructor, asistió para la exitosa culminación del proyecto de investigación.

Así también al Sr. Mario Benalcázar quien desinteresadamente nos abrió las puertas de su taller “Servidiésel Benalcázar”, el cual compartió conocimientos, experiencias y además de sus instalaciones para poder alcanzar los objetivos y metas que se propusieron al inicio de este trabajo de investigación.

Luis Gabriel Monteros Montenegro

ÍNDICE DE CONTENIDOS

PORTADA	i
CERTIFICACIÓN.....	ii
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD.....	iii
AUTORIZACIÓN	iv
DEDICATORIA	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO	vii
AGRADECIMIENTO	viii
ÍNDICE DE CONTENIDOS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xvii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xxiii
ÍNDICE DE ECUACIONES	xxiv
RESUMEN	xxv
ABSTRACT	xxvi
PRESENTACIÓN.....	xxvii

CAPÍTULO I.

MARCO METODOLÓGICO PARA EL DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN “ANÁLISIS DE DESGASTE DE LAS TOBERAS DE LOS INYECTORES DE SISTEMAS CRDI A TRAVÉS EL USO DEL RUGOSÍMETRO”.....	1
1. PROBLEMA	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Planteamiento del problema	2
1.3 Descripción resumida del proyecto	3
1.4 Justificación e importancia.....	4

1.5	Objetivos	4
1.5.1	General	4
1.5.2	Específicos	4
1.6	Metas.....	5
1.7	Hipótesis.....	5
1.8	Variables de la investigación.....	5
1.8.1	Variable dependiente	5
1.8.2	Variable independiente	5
1.9	Metodología.....	5
1.9.1	Método experimental	6
1.9.2	Método deductivo	6
1.9.3	Método inductivo.....	6
1.9.4	Método de síntesis	6
1.9.5	Método comparativo	6

CAPÍTULO II.

	“INYECTORES CRDI Y RUGOSIDADES SUPERFICIALES”.....	7
2.1	Inyectores CRDI.....	7
2.2	Tipos de Inyectores CRDI.....	8
2.2.1	Sistema de Inyección CRDI Bosch.....	8
a.	Inyector CRDI BOSCH.....	10
b.	Conjunto porta tobera (porta inyector).....	11
c.	Toberas (inyectores).....	12
d.	Ficha técnica (designación del inyector).....	13
e.	Ficha técnica (designación del porta toberas).....	14
2.2.2	Sistema de Inyección CRDI DENSO.....	15
a.	Inyector CRDI DENSO.....	16

2.2.3 Sistema de Inyección CDRI DELPHI	20
a. Características del sistema	20
b. Funcionamiento.....	21
c. Inyector CRDI DELPHI	22
2.3 Detalles de Portainyectores y Toberas	27
2.3.1 Tipos de toberas	28
a. Toberas de orificio.....	28
b. Toberas de tetón o espiga	29
2.3.2 Influencia de los detalles de acabado	29
2.4 Material usado en agujas de inyección.....	29
2.4.1 Composición química del material.....	30
2.5 Averías en los inyectores.....	31
2.5.1 Síntomas de malfuncionamiento en motores Diésel	31
2.5.2 Averías en el conjunto de la tobera	32
2.5.3 Comprobaciones de fallas en los inyectores (toberas)	33
2.5.4 Pruebas básicas a los inyectores	34
a. Prueba de zumbido	35
b. Forma de chorro	35
c. Presión de apertura del inyector.....	35
d. Goteo por el inyector.....	36
e. Fugas internas del inyector	36
2.6 Rugosidades Superficiales	37
2.6.1. Estimación de la rugosidad.....	38
a. Medida de la rugosidad.....	38
b. Clases de rugosidad.....	39
c. Clase de rugosidad y aplicación	40
d. Clase de rugosidad-proceso de fabricación	41

2.7	Parámetros de rugosidad.....	41
2.7.1	Parámetros basados en la medida de la profundidad de la rugosidad	42
a.	Rugosidad media aritmética (R_a).....	42
b.	Rugosidad media cuadrática (R_q).....	43
c.	Rugosidad Parcial (Z_i).....	44
d.	Rugosidad Media (R_Z).....	45
e.	Rugosidad Máxima ($R_{m\acute{a}x}$).....	46
f.	Profundidad total de la rugosidad (R_t).....	47
2.7.2	Sistemas basados en medidas horizontales.....	47
a.	Paso medio de la rugosidad (S_m).....	47
b.	Espacio medio entre crestas vecinas (S).....	48
c.	Conteo de crestas (P_c).....	49
d.	Longitud de contacto a una profundidad (L_c).....	49
2.7.3	Sistemas basados en medidas proporcionales.....	49
a.	Coefficiente de vaciamiento (K_e).....	49
b.	Coefficiente de llenado (K_p).....	50
c.	Inclinación media del perfil (Δa).....	50
2.8	Indicación de los estados superficiales.....	50
2.8.1	Simbología.....	52
2.8.2	Indicación de la rugosidad.....	52
2.8.3	Dirección de las estrías.....	53
2.8.4	Calidades de Procesos.....	54
2.8.5	Indicaciones de los símbolos.....	55
2.9	Métodos para medir la rugosidad.....	55
2.9.1	Métodos cualitativos o visotáctiles.....	55
a.	Observación táctil.....	55
b.	Observación visual sin óptica.....	56

c.	Observación visual con óptica	56
2.9.2	Método cuantitativo.....	57
a.	Rugosímetro de palpador mecánico	57
b.	Rugosímetro de palpador inductivo	57
c.	Rugosímetro de palpador capacitivo	58
d.	Rugosímetro de palpador piezoeléctrico	58
e.	Rugosímetro patín mecánico.....	59

CAPÍTULO III.

“PRUEBAS EXPERIMENTALES”	60
3.1 Preparación del rugosímetro SHIMANA SHSBLST241	60
3.1.1 Elementos	60
3.1.2 Instalación del Software PresurfEnterprise	60
3.1.3 Preparación del rugosímetro antes de las mediciones	63
3.2 Especificaciones de los inyectores CRDI (Bosch, Denso y Delphi).....	67
3.2.1 Inyector marca Bosch (Mazda Bt-50 2.5)	67
3.2.2 Inyector marca Delphi (Hyundai Terracan 2.9).....	68
3.2.3 Inyector marca Denso de un Toyota Hilux 3.0.....	69
3.3 Despiece del conjunto tobera de los inyectores CRDI.....	70
3.3.1 Inyector Bosch.....	70
3.3.2 Inyector Denso.....	72
3.3.3 Inyector Delphi	74
3.4 Mediciones de rugosidad a iguales condiciones iniciales de las agujas.....	76
3.4.1 Aguja de la tobera Bosch.....	76
a. Cono de la aguja.....	76
b. Vástago de la aguja de la tobera	79
3.4.2 Aguja de la tobera Denso	81

a. Cono de la aguja.....	81
b. Vástago de la aguja de la tobera	83
3.4.3 Aguja de la tobera Delphi.....	85
a. Cono de la aguja.....	85
b. Vástago de la aguja de la tobera	87
3.5 Tabulación de datos iniciales	89
3.6 Mediciones desgaste en condiciones finales de la aguja CRDI.....	90
3.6.1 Inyector Bosch	90
a. Cono de aguja.....	90
b. Vástago de aguja	92
3.6.2 Inyector Denso	94
a. Cono de aguja.....	94
b. Vástago de aguja	96
3.6.3 Inyector Delphi	98
a. Cono de aguja.....	98
b. Vástago de aguja	100
3.7 Tabulación de datos finales	102
3.8 Análisis de resultados.....	103
3.8.1 Rugosidad de la aguja de la tobera NUEVA del inyector Delphi.....	103
a. Análisis del cono de la aguja	103
b. Rugosidad del vástago de la aguja	106
3.8.2 Rugosidad del cono de la aguja de la tobera USADA del inyector Delphi.....	110
a. Análisis del cono de la aguja	110
b. Rugosidad del vástago de la aguja	113
3.8.3 Rugosidad de la aguja de la tobera NUEVA del inyector Bosch	116
a. Rugosidad del cono de la aguja.....	116
b. Rugosidad del vástago de la aguja	119

3.8.4 Rugosidad de la aguja de la tobera USADA del inyector Bosch.....	122
a. Rugosidad del cono de la aguja.....	122
b. Rugosidad del vástago de la aguja	125
3.8.5 Rugosidad de la aguja de la tobera NUEVA del inyector Denso	128
a. Rugosidad del cono de la aguja.....	128
b. Rugosidad del vástago de la aguja	131
3.8.6 Rugosidad de la aguja de la tobera USADA del inyector Denso	134
a. Rugosidad del cono de la aguja.....	134
b. Rugosidad del vástago de la aguja	137

CAPÍTULO IV.

MARCO ADMINISTRATIVO	141
4.1 Recursos	141
4.1.1 Recursos humanos.....	141
4.1.2 Recursos Tecnológicos.....	141
4.1.3 Recursos Materiales	141
4.2 Análisis de costos del proyecto.....	142
4.2.1 Costo de materiales (pedestal)	142
4.2.2 Costos de mano obra	142
4.2.2 Costos de inversión del rugosímetro	143
4.2.3 Gastos de inversión de inyectores y toberas	143
4.2.4 Costo neto del proyecto	144
4.2.5 Análisis Costo – Beneficio	145
4.2.6 Financiamiento.....	145
4.3 Cronograma	145

CAPÍTULO V.

“CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES”.....	146
--	------------

CONCLUSIONES	146
RECOMENDACIONES	161
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	163
ANEXOS.....	167

ANEXO A	LÁMINA DE LA AGUJA NUEVA (BOSCH)
ANEXO B	LÁMINA DE LA AGUJA USADA (BOSCH)
ANEXO C	LÁMINA DE LA AGUJA NUEVA (DENSO)
ANEXO D	LÁMINA DE LA AGUJA USADA (DENSO)
ANEXO E	LÁMINA DE LA AGUJA NUEVA (DELPHI)
ANEXO F	LÁMINA DE LA AGUJA USADA (DELPHI)
ANEXO G	LÁMINA DEL PEDESTAL DEL RUGOSÍMETRO
ANEXO H	CRONOGRAMA

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama Causa Efecto.....	3
Figura 2. Partes del inyector CRDI.....	7
Figura 3. Funcionamiento del inyector CRDI.....	8
Figura 4. Partes principales de un sistema CRDI BOSCH	9
Figura 5. Inyector Bosch CRDI (electromagnético).....	10
Figura 6. Inyector Bosch CRDI (piezoeléctrico).....	11
Figura 7. Modelos porta tobera (Bosch)	12
Figura 8. Toberas de inyectores CRDI (Bosch)	12
Figura 9. Partes superficiales en las toberas (Bosch).....	13
Figura 10. Designación de tipo de inyector (Bosch)	14
Figura 11. Designación de porta inyector (Bosch)	15
Figura 12. Sistema de alimentación CRDI DENSO	16
Figura 13. Partes y construcción del inyector CRDI DENSO	17
Figura 14. Inyector CRDI DENSO sin inyección	17
Figura 15. Inyector CRDI DENSO plena inyección.....	18
Figura 16. Inyector CRDI DENSO fin de inyección	19
Figura 17. Códigos QR en inyectores DENSO	19
Figura 18. Puntos de corrección del código QR.....	20
Figura 19. Esquema básico del CRDI DELPHI	21
Figura 20. Circuito de alimentación del CRDI DELPHI	22
Figura 21. Inyector CRDI DELPHI.....	23
Figura 22. Inyector DELPHI sin inyección.....	23
Figura 23. Inyector DELPHI inicio de inyección.....	24
Figura 24. Inyector DELPHI a plena carga.....	25
Figura 25. Inyector DELPHI a fin de inyección.....	25
Figura 26. Código de identificación (Delphi)	26
Figura 27. Código QR (Delphi).....	27
Figura 28. Portainyector y tobera (partes).....	28
Figura 29. Tobera de orificio.....	28
Figura 30. Tipos de chorro según forma tobera de tetón (cilíndrico y cónico).....	29
Figura 31. Desgaste de la aguja de la tobera de inyección.....	33
Figura 32. Comprobación de la aguja	34

Figura 33. Inyección aceptable e inaceptable.....	35
Figura 34. Pieza rugosa.....	37
Figura 35. Crestas y valles	38
Figura 36. Curva de rugosidad	38
Figura 37. Partes de rugosímetro.....	39
Figura 38. Medida de Ra.....	42
Figura 39. Medida de Rq.....	43
Figura 40. Medida de Zi.....	44
Figura 41. Medida de Rz.....	45
Figura 42. Medida de R _{máx}	46
Figura 43. Medida de R _t	47
Figura 44. Medida de S _m	48
Figura 45. Medida de S.....	48
Figura 46. Medida de L _c	49
Figura 47. Coeficiente K _e	50
Figura 48. Símbolo (a)	51
Figura 49. Símbolo (b).....	51
Figura 50. Símbolo (c)	51
Figura 51. Símbolo (d).....	52
Figura 52. Simbología.....	52
Figura 53. Simbología de superficie con tratamiento térmico	53
Figura 54. Indicaciones de los dibujos.....	55
Figura 55. Patrones de rugosidad	56
Figura 56. Observación visual sin óptica	56
Figura 57. Observación visual con óptica	57
Figura 58. Rugosímetro de palpador mecánico	57
Figura 59. Rugosímetro de palpador inductivo	58
Figura 60. Rugosímetro de palpador capacitivo.....	58
Figura 61. Rugosímetro de palpador piezoeléctrico	59
Figura 62. Rugosímetro de patín mecánico.....	59
Figura 63. Partes del kit rugosímetro	60
Figura 64. Ejecución del instalador	61
Figura 65. Pantalla de bienvenida a la instalación.....	61
Figura 66. Instalación de los driver.	62

Figura 67. Elección del sitio a instalar	62
Figura 68. Finalización de la instalación.....	62
Figura 69. Pantalla del Software.....	63
Figura 70. Pedestal del rugosímetro con su base de vidrio	63
Figura 71. Conexión del sensor palpador.....	64
Figura 72. Ubicación del rugosímetro en el pedestal.....	64
Figura 73. Selector de encendido de la batería.....	64
Figura 74. Botón de encendido (Start).....	65
Figura 75. Conexión del cable USB al computador	65
Figura 76. Conexión del cable USB al computador	65
Figura 77. Tecla “Ingreso” para las funciones	66
Figura 78. Opción “Function Setup”	66
Figura 79. Encerado del rugosímetro.....	67
Figura 80. Rugosímetro listo para la medición	67
Figura 81. Inyector Bosch	68
Figura 82. Inyector Delphi	69
Figura 83. Inyector Denso	70
Figura 84. Desarme de la tobera (Bosch).....	70
Figura 85. Herramienta para aflojar la tobera (Bosch)	71
Figura 86. Extracción de la tobera (Bosch).....	71
Figura 87. Desarme del conjunto de la tobera.....	71
Figura 88. Despiece del conjunto tobera (Bosch).....	72
Figura 89. Aguja de la tobera (Bosch)	72
Figura 90. Ubicación del inyector (Denso) en la prensa.....	73
Figura 91. Uso de la herramienta para aflojar la tobera.....	73
Figura 92. Extracción del conjunto tobera del inyector Denso	73
Figura 93. Extracción del conjunto tobera del inyector Denso	74
Figura 94. Despiece del conjunto tobera (Denso)	74
Figura 95. Fijación del inyector DELPHI a la prensa.....	75
Figura 96. Uso de la herramienta para aflojar la tobera	75
Figura 97. Aflojamiento de la porta tobera	75
Figura 98. Despiece del conjunto tobera (Delphi).....	76
Figura 99. Partes que generan desgaste en la aguja de la tobera	76
Figura 100. Tobera nueva de marca Bosch	77

Figura 101. Ubicación de la aguja de la tobera (Bosch)	77
Figura 102. Botón “Start” para empezar a registrar datos de rugosidad.....	78
Figura 103. Valor de “Ra” en la pantalla principal	78
Figura 104. Valores de los parámetros en software y rugosímetro (cono)	79
Figura 105. Gráfica en software y rugosímetro.....	79
Figura 106. Posicionamiento del vástago de la aguja.....	80
Figura 107. Valores de los parámetros en software y rugosímetro (vástago)	80
Figura 108. Gráficas de desgaste en software y rugosímetro (vástago)	81
Figura 109. Tobera nueva (Denso)	81
Figura 110. Sujeción de la aguja de la tobera nueva (Denso)	82
Figura 111. Botón “Start” para inicio de mediciones	82
Figura 112. Valores de parámetros en rugosímetro y software (cono).....	83
Figura 113. Gráficas de rugosidad en rugosímetro y software (cono).....	83
Figura 114. Sujeción del vástago de aguja de la tobera nueva (Denso)	84
Figura 115. Botón “Start” para inicio de mediciones	84
Figura 116. Datos de parámetros de aguja nueva en rugosímetro y software.....	85
Figura 117 . Gráficas de rugosidad en aguja nueva en rugosímetro y software.....	85
Figura 118. Sujeción del cono de la aguja de la tobera	86
Figura 119. . Botón “Start” para inicio de mediciones	86
Figura 120. Mediciones de parámetros en ambos dispositivos	87
Figura 121. Gráficas de rugosidad en ambos dispositivos.....	87
Figura 122. Sujeción de la aguja de tobera	88
Figura 123. Botón “Start” para inicio de mediciones	88
Figura 124. Datos de parámetro de rugosidad en software y rugosímetro.....	88
Figura 125. Gráficas de rugosidad en software y rugosímetro.....	89
Figura 126. Sujeción de la aguja a la prensa	90
Figura 127. Botón “Start” para inicio de mediciones	91
Figura 128. Datos de desgaste obtenidos	91
Figura 129, Gráfica del desgaste obtenido, visualizado en los dos dispositivos	92
Figura 130. Sujeción del vástago de la aguja de tobera	92
Figura 131. Botón “start” para el inicio de las mediciones.....	93
Figura 132. Mediciones de desgaste arrojados.....	93
Figura 133. Gráficas de desgaste arrojados.....	94
Figura 134. Sujeción de la aguja de la tobera usada (Denso)	94

Figura 135. Botón “Start” para inicio de mediciones	95
Figura 136. Mediciones de desgaste arrojados del rugosímetro - software	95
Figura 137. Gráficas de desgaste arrojados del rugosímetro - software	96
Figura 138. Sujeción del vástago de aguja de la tobera usada (Denso)	96
Figura 139. Botón “Start” para inicio de mediciones	97
Figura 140. Mediciones de desgaste arrojados del rugosímetro - software	97
Figura 141. Gráficas de desgaste arrojados del rugosímetro - software	98
Figura 142. Sujeción del cono de la aguja	98
Figura 143. Botón “Start” para inicio de mediciones	99
Figura 144. Mediciones de desgaste arrojados del rugosímetro - software	99
Figura 145. Gráficas de desgaste arrojados del rugosímetro - software	100
Figura 146. Sujeción del vástago en la prensa	100
Figura 147. Botón “Start” para inicio de mediciones	101
Figura 148. Mediciones de desgaste arrojados del rugosímetro - software	101
Figura 149. Gráficas de desgaste arrojados del rugosímetro - software	102
Figura 150. Rugosidad del cono de la aguja de Tobera inyector Delphi	103
Figura 151. Rugosidad punta cónica de la aguja de Tobera inyector Delphi	105
Figura 152. Rugosidad vástago de la aguja de Tobera inyector Delphi	106
Figura 153. Rugosidad vástago de la aguja de Tobera inyector Delphi	108
Figura 154. Rugosidad del cono de la aguja de Tobera inyector Delphi	110
Figura 155. Rugosidad punta cónica de la aguja de Tobera inyector Delphi	112
Figura 156. Rugosidad vástago de la aguja de Tobera inyector Delphi	113
Figura 157. Rugosidad vástago de la aguja de Tobera inyector Delphi	115
Figura 158. Rugosidad punta cónica de la aguja de Tobera inyector Bosch	116
Figura 159. Rugosidad punta cónica de la aguja de Tobera inyector Bosch	118
Figura 160. Rugosidad vástago de la aguja	119
Figura 161. Rugosidad vástago de la aguja de Tobera inyector Bosch	121
Figura 162. Rugosidad punta cónica de la aguja de Tobera inyector Bosch	122
Figura 163. Rugosidad punta cónica de la aguja de Tobera inyector Bosch	124
Figura 164. Rugosidad vástago de la aguja de Tobera inyector Bosch	125
Figura 165. Rugosidad vástago de la aguja de Tobera inyector Bosch	127
Figura 166. Rugosidad punta cónica de la aguja de Tobera inyector Denso	128
Figura 167. Rugosidad punta cónica de la aguja de Tobera inyector Denso	130
Figura 168. Rugosidad vástago de la aguja de Tobera inyector Denso	131

Figura 169. Rugosidad vástago de la aguja de Tobera inyector Denso	133
Figura 170. Rugosidad punta cónica de la aguja de Tobera inyector Denso	134
Figura 171. Rugosidad punta cónica de la aguja de Tobera inyector Denso	136
Figura 172. Rugosidad vástago de la aguja de Tobera inyector Denso	137
Figura 173. Rugosidad vástago de la aguja de Tobera inyector Denso	139
Figura 174. Comparación Parámetro Ra aguja tobera inyector BOSCH.....	146
Figura 175. Comparación Parámetro Rq aguja tobera inyector BOSCH	147
Figura 176. Comparación Parámetro Rp aguja tobera inyector BOSCH	147
Figura 177. Comparación Parámetro Rv aguja tobera inyector BOSCH	148
Figura 178. Comparación Parámetro Rt aguja tobera inyector BOSCH	148
Figura 179. Comparación Parámetro Rz aguja tobera inyector BOSCH.....	149
Figura 180. Comparación Parámetro Ra aguja tobera inyector DENSO.....	149
Figura 181. Comparación Parámetro Rq aguja tobera inyector DENSO	150
Figura 182. Comparación Parámetro Rt aguja tobera inyector DENSO	150
Figura 183. Comparación Parámetro Rz aguja tobera inyector DENSO.....	151
Figura 184. Comparación Parámetro Rp aguja tobera inyector DENSO	151
Figura 185. Comparación Parámetro Rv aguja tobera inyector DENSO	152
Figura 186. Comparación Parámetro Ra aguja tobera inyector DELPHI.....	152
Figura 187. Comparación Parámetro Rq aguja tobera inyector DELPHI.....	153
Figura 188. Comparación Parámetro Rp aguja tobera inyector DELPHI.....	153
Figura 189. Comparación Parámetro Rv aguja tobera inyector DELPHI.....	154
Figura 190. Comparación Parámetro Rt aguja tobera inyector DELPHI	154
Figura 191. Comparación Parámetro Rz aguja tobera inyector DELPHI.....	155
Figura 192. Comparación Parámetro Ra entre agujas de inyección (nuevos)	156
Figura 193. Comparación Parámetro Rt entre agujas de inyección (nuevas)	156
Figura 194. Comparación Parámetro Ra entre agujas de inyección (usadas)	157
Figura 195. Comparación Parámetro Rt entre agujas de inyección (usadas).....	158
Figura 196. Desgaste entre conos de aguja (3 marcas)	158
Figura 197. Desgaste entre vástagos de agujas (3 marcas)	159

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características y Ventajas de las toberas Bosch.	13
Tabla 2. Averías en el conjunto tobera	32
Tabla 3. Clase de rugosidad	39
Tabla 4. Clase de rugosidad - aplicación	40
Tabla 5. Clase de rugosidad según proceso de fabricación.....	41
Tabla 6. Cutoff y longitud de medición	43
Tabla 7. Símbolos para dirección de estrías	53
Tabla 8. Calidades de procesos	54
Tabla 9. Condiciones iniciales inyector Bosch CRDI	89
Tabla 10. Condiciones iniciales inyector Denso CRDI	89
Tabla 11. Condiciones iniciales inyector Delphi CRDI.....	90
Tabla 12. Condiciones finales inyector Bosch CRDI.....	102
Tabla 13. Condiciones finales inyector Denso CRDI.....	102
Tabla 14. Condiciones finales inyector Delphi CRDI	103
Tabla 15. Costo de materiales	142
Tabla 16. Costos de mano de obra.....	143
Tabla 17. Costos del rugosímetro	143
Tabla 18. Gastos de inversión en Inyectores y toberas	144
Tabla 19. Costo neto del proyecto	144

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Estimación de rugosidad	38
Ecuación 2. Rugosidad media aritmética	42
Ecuación 3. Rugosidad media aritmética (2).....	42
Ecuación 4. Rugosidad media cuadrática.....	44
Ecuación 5. Rugosidad media cuadrática (2)	44
Ecuación 6. Rugosidad parcial	45
Ecuación 7. Rugosidad media	46
Ecuación 8. Profundidad total de la rugosidad	47
Ecuación 9. Paso medio de la rugosidad	48
Ecuación 10. Espacio medio entre crestas vecinas (S)	48
Ecuación 11. Conteo de crestas	49
Ecuación 12. Longitud de contacto a una profundidad.....	49
Ecuación 13. Coeficiente de vaciamiento.	50
Ecuación 14. Coeficiente de llenado.....	50
Ecuación 15. Inclinación media del perfil.....	50

RESUMEN

En este proyecto de investigación se analiza el desgaste que sufren las toberas de los inyectores CRDI de tres marcas diferentes luego de un determinado tiempo de uso; para lo cual, este estudio se realiza a través del rugosímetro, que está avaluado por normas internacionales ISO y DIN. El deterioro que se presenta en la aguja de la tobera se lo va a determinar realizando mediciones de rugosidades con el aparato llamado rugosímetro, para después ser corroborado con cálculos integrales, y así poder cuantificar el tipo de desgaste según la marca y tiempo de operación del inyector. Al tener toberas nuevas de inyectores CRDI de las marcas: BOSCH, DELPHI y DENSO, y otras usadas después de un cierto kilometraje, se puede realizar la comparación de desgaste que se presenta en cada caso; además de confrontar la información entre los inyectores involucrados en el proyecto de investigación. De esta manera se podrá obtener resultados y conocer la marca que se desgasta más en la aguja de la tobera del inyector después de un cierto tiempo de uso.

PALABRAS CLAVE:

- **INYECTORES CRDI**
- **AUTOMÓVILES – SISTEMAS DE INYECCIÓN**
- **SISTEMAS DE INYECCIÓN - TOBERA**

ABSTRACT

In this research project the wear suffered the nozzles of the injectors CRDI three different brands after a certain time of use is analyzed; for which this study is done through a profilometer that is valued by international standards such as ISO and DIN. The deterioration that occurs in the nozzle needle is going to be determined by measurement of roughness with Roughness apparatus, later to be corroborated with comprehensive calculations, so we can quantify the type worn by brand and operating time of the injector.

By having new injector nozzles CRDI of the three brands such as BOSCH, DELPHI and DENSO, and nozzles used after a certain mileage, we can make the comparison suffers wear each injector nozzle; as well as compare the information between the injectors involved in the research project. In this way you can get results and know the brand suffers more wear on the needle of the injector nozzle after a certain time of use.

KEYWORDS:

- **CRDI INYECTORS.**
- **AUTOMOBILE-INJECTION SYSTEMS**
- **INJECTION SYSTEMS-NOZZLE**

PRESENTACIÓN

Con el paso del tiempo, la industria automotriz ecuatoriana ha ido creciendo desde un punto de vista tecnológico; así como también ha ido incrementando exponencialmente el número de vehículos en el parque automotor del país. Uno de los vehículos que más ha ganado terreno en las carreteras son aquellos que poseen motor diesel, ya que por sus mejores prestaciones en torque y potencia en relación a los que usan gasolina, se los usa para el trabajo pesado, industrias, off road, etc.

Uno de los puntos en contra que se tiene al usar estos vehículos en el país, son las fallas que se pueden generar en el sistema de alimentación, debido a que el combustible diesel nacional, en su estructura, presenta cantidades elevadas de azufre, esto en combinación con las altas temperaturas y presiones que se generan en el momento de la inyección del combustible, así como también el descuido de los propietarios en los tiempos de mantenimiento del automotor; los cuales provocan daños costosos en bombas de combustible, inyectores y en general el motor del vehículo diésel.

El sistema de Common Rail (Riel Común) uno de los más utilizados en el país, no está exento de los problemas antes mencionados; el trabajo de investigación está enfocado a realizar un análisis sobre este tipo alimentación de combustible, haciendo énfasis en el desgaste que se da en la aguja de inyección del inyector CRDI (cono y vástago), en tres diferentes marcas comerciales (Bosch, Denso, Delphi), que están en contacto con el diesel que es pulverizado. Esta medición de la rugosidad o desgaste está cargo del uso del rugosímetro.

El trabajo de investigación se encuentra dividido en cinco capítulos, los cuales se expondrán a continuación en detalle:

El capítulo 1, hace referencia al marco metodológico usado para el desarrollo de la investigación; en función del planteamiento del problema, justificación, objetivos, variables y métodos del trabajo investigativo.

En el capítulo 2, se realiza la investigación de fuentes bibliográficas, las cuales son las bases del marco teórico de la investigación, cabe recalcar que en todo momento se respeta las normas y reglamento de propiedad de los autores; esto es la base de la investigación en la cual se describe el funcionamiento de los inyectores del sistema riel común (CRDI), elementos y propiedades de los inyectores en las tres marcas comerciales antes mencionadas; además en este capítulo se hará hincapié en

la teoría del desgaste realizando un análisis de las rugosidades que se presentan en la superficie de los materiales.

El capítulo 3, que lleva por nombre “pruebas experimentales” se realiza una breve descripción del uso del rugosímetro SHIMANA SHSBLST241, además de las experiencias obtenidas en función de las mediciones de rugosidad que se realiza en los conos y vástagos de las agujas de inyección de los inyectores Bosch, Denso y Delphi; obtenidos de los vehículos: Toyota Hilux 3.0, Hyundai Terracan 2.9 y Mazda BT-50 2.5 respectivamente. Las mediciones se realizan en toberas nuevas y en usadas a ciertos kilometrajes de recorrido. Además se sustenta con el uso de cálculo matemático los parámetros de medición que arroja el aparato de medida de rugosidad.

En el capítulo 4, se realiza las conclusiones comparando el resultado obtenido, con los datos de las mismas marcas entre nuevo - usado; y entre las diferentes marcas tomando el mismo concepto, verificando el desgaste entre ellas, tomando en cuenta los parámetros de medición que nos da el rugosímetro. Además se realizan las recomendaciones del caso del trabajo de investigación.

Para finalizar en el capítulo 5 se presenta el marco administrativo, en el cual se detalla los diferentes recursos que se emplearon para la realización del proyecto de investigación.

CAPÍTULO I.

MARCO METODOLÓGICO PARA EL DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN “ANÁLISIS DE DESGASTE DE LAS TOBERAS DE LOS INYECTORES DE SISTEMAS CRDI A TRAVÉS EL USO DEL RUGOSÍMETRO”

1. PROBLEMA

1.1 Antecedentes

El sistema Common Rail trabaja con una presión máxima hasta de 2000 bar, a semejante presión existen partículas que por la mala calidad del combustible causan daños al sistema, en general a los inyectores y bomba de alta presión, provocando desgastes prematuros, erosión, falta de estanqueidad interna del componente, y la descalibración del mismo.

La función de los inyectores CRDI es inyectar el combustible a altas presiones en la cámara de combustión del motor Diésel, el cual influye esencialmente en la formación de la mezcla y la combustión, y con ello en la potencia del motor y el comportamiento de los gases de escape y la emisión de ruidos. (BOSCH, 2005, pág. 95)

En el año de 1994 se implementó la norma EURO I, en la cual la materia particulada que causaba daños al sistema CRDI no podía sobrepasar de 0.18 PM (Material Particulado), estas normas han evolucionado hasta la EURO V, que fue incorporada en el año 2010 con un 0.005 PM. Lo que se ha querido obtener a través del tiempo es un mínimo de PM en los sistemas CRDI. (Monin, 2009, pág. 246)

El diesel ecuatoriano se divide en tres tipos: diesel No 1 (máquinas de velocidad y carga variable), diesel No 2 (uso industrial) y diesel No 2 con bajo contenido de azufre llamado también Premium (automotores diesel de alta velocidad); en este caso el azufre, además del trabajo a altas presiones y elevadas temperaturas, provocan desgastes en la superficie del material; es por ello que la cantidad de azufre permisible, para vehículos diesel que son objeto de la investigación, es de 0,05% en masa, este monto de azufre es suficiente para incidir en el desgaste superficial del material. (INEN, 2012)

La aguja interna de la tobera, es otro componente comúnmente muy dañado por los aditivos, excesos de temperatura y partículas en suspensión elevadas, además los

orificios de la tobera sufren importante reducción de su diámetro, provocando una falta de caudal importante. (Lopez, 2006, pág. 36)

En Ecuador más del 40% de vehículos utilizan sistema CRDI, y más aún los vehículos de carga como los camiones y camionetas que en nuestro medio según AEDE hay 4380 importaciones cada año, realizando así estudios de la importancia que tiene este tipo de sistema. (AEADE, 2015).

Según el grupo BOSCH manifiesta que el sistema CRDI es controlado electrónicamente para tener un excelente desempeño y eficiencia de combustible, además bajo nivel de emisiones y ruido, lo cual lo convierte amigable con el medio ambiente. (BOSCH, 2008, pág. 98)

1.2 Planteamiento del problema

El sistema CRDI representa una innovación en la tecnología de los motores diésel, los fabricantes más reconocidos, como: BOSCH, DENSO, DELPHI y SIEMENS ofertan sus equipos de inyección de combustible controlados electrónicamente y actuado hidráulicamente, sin embargo como este sistema trabaja a altas presiones y elevadas temperaturas y además de ello, existen elementos químicos que bajan calidad del combustible, en especial del diésel ecuatoriano, que causan daños a largo plazo, por lo general, a los inyectores y bomba de alta presión; provocando desgastes prematuros, erosión, falta de estanqueidad interna del componente, y la descalibración del mismo.

El sistema de alimentación antes mencionado, inyecta combustible a altas presiones en la cámara de combustión del motor diésel, el cual, influye esencialmente en la formación de la mezcla y la combustión, y por ende en la potencia del motor, el comportamiento de los gases de escape y la emisión de ruidos; ya que si existe algún daño o desgaste en el sistema y más aún en las partes críticas como es la tobera del inyector, producirá una deficiencia del sistema.

Es necesario realizar el análisis de desgaste de las toberas de los sistemas CRDI, y poder determinar, cuál marca de inyector presenta un mayor desgaste, a iguales condiciones de operación; esto se puede realizar mediante el uso del rugosímetro, el cual permite realizar mediciones y comprobaciones de rugosidades superficiales que van a existir en los desgastes presentes en las toberas de los inyectores; esto es importante ya que ayudará a conseguir nuestro objetivo.

A continuación, en el siguiente diagrama se ilustra un cuadro esquemático sobre los problemas y soluciones del proyecto, para el análisis del desgaste de las toberas de los sistemas CRDI con el uso del rugosímetro.

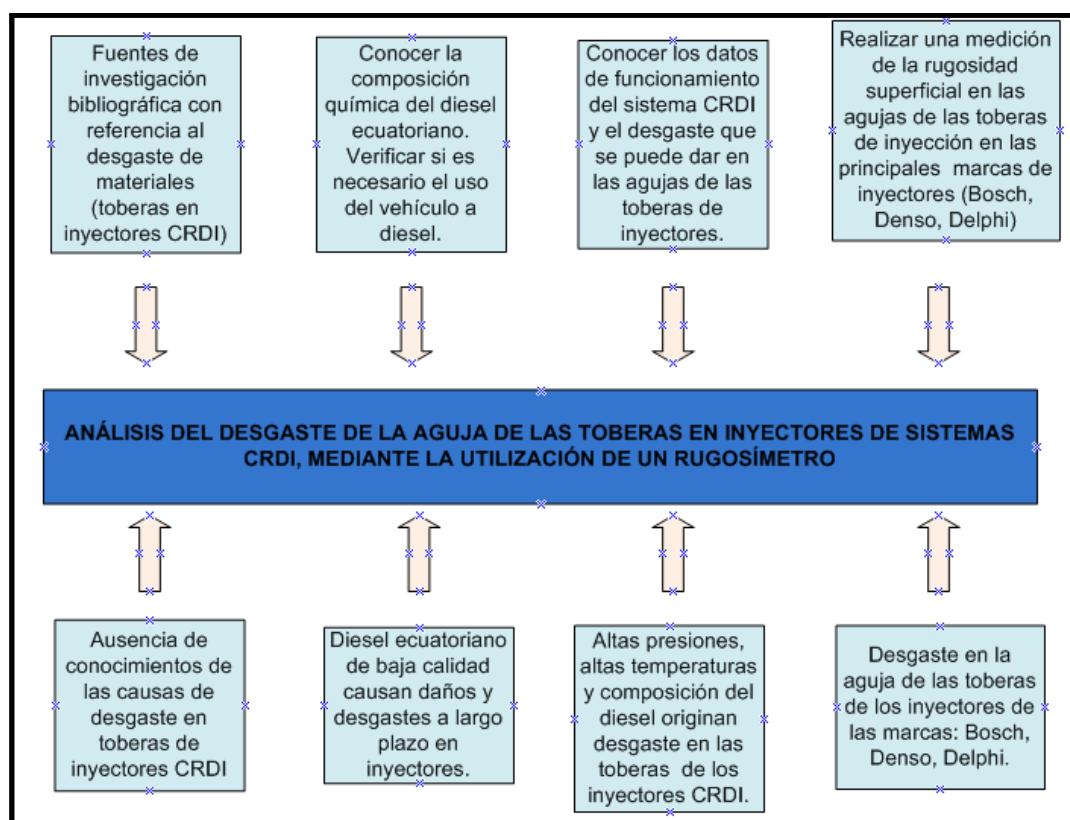


Figura 1. Diagrama Causa Efecto

1.3 Descripción resumida del proyecto

En el proyecto de investigación propuesto se analiza el desgaste de las agujas de toberas de inyección en los sistemas CRDI en las marcas Bosch, Denso y Delphi, que se encuentran en los inyectores de los vehículos Mazda BT-50 2.5 cc, Toyota Hilux 3.0 cc y en Hyundai Terracan 2.9 cc; a iguales condiciones iniciales (nuevas), y después que hayan tenido horas de trabajo (usadas), por medio de un estudio de rugosidades.

El deterioro que se presenta en las agujas de la tobera, se la va a determinar en el cono y vástago de la misma y se lo va a determinar por medio de un rugosímetro, cual nos va a permitir observar, cuantificar y comparar el desgaste en la superficie entre estas dos condiciones de uso del inyector.

Al conocer los datos iniciales en los que se encuentran las agujas de las toberas de los inyectores y la información obtenida en las agujas de inyección usadas, se

puede realizar la comparación de desgaste en cada mecanismo de inyección, así como también confrontar la información entre los inyectores involucrados en el proyecto de investigación. De esta manera se puede conocer la marca que mejor se adapta a las pruebas de inyección por determinadas horas de uso.

1.4 Justificación e importancia

La investigación es necesaria, ya que de esta manera se afianza un estudio de la rugosidad que se presenta en las toberas de inyectores, tomando en cuenta los fenómenos mecánicos e hidráulicos presentes durante el trabajo de un sistema de inyección CRDI, presente en diversos automotores en el mercado, siendo este sistema el que proporciona eficiencia en el consumo de combustible en el vehículo en marcha, se considera importante determinar un método de análisis que permita obtener resultados confiables con respecto al deterioro después de un determinado tiempo de uso tomando en cuenta las condiciones a las van a trabajar los inyectores.

Con esta investigación se beneficiará el área automotriz ya que tendrá una fuente de información para futuras investigaciones dando a conocer que marca de inyector en CRDI posee mejores condiciones de trabajo. Además, con la presencia del rugosímetro va a permitir obtener resultados del deterioro, se puede determinar desgastes a ciertos tiempos y con condiciones de uso de diferentes combustibles (biodiésel con diferentes formas de obtención, etc.)

Dentro del punto de vista del lector, este tema le permitirá conocer qué marca de inyector (Bosch, Denso o Delphi) en un sistema CRDI le ofrece mejores condiciones de uso para el vehículo a diésel (Mazda BT-50, Toyota Hilux o Hyundai Terracan), desde un punto de vista de prestaciones y costos.

Asimismo, este trabajo investigativo es amigable con el medio ambiente ya que en todo el proceso no existirán emanaciones producidas por la combustión o quema de combustibles fósiles.

1.5 Objetivos

1.5.1 General

Analizar el desgaste de las toberas de los inyectores de sistemas CRDI a través del uso del rugosímetro.

1.5.2 Específicos

- Obtener información técnica bibliográfica con referencia al tema del proyecto (rugosidades en superficies, desgastes en toberas de inyectores CRDI).

- Seleccionar tres marcas diferentes de inyectores (Bosch, Denso y Delphi), de tres vehículos diferentes y a dos condiciones de servicio (nuevos y usados).
- Obtener mediciones de las rugosidades y el desgaste final en las agujas de inyección, tanto en cono como vástago, con la ayuda del rugosímetro.
- Analizar los resultados obtenidos para generar conclusiones sugerentes.

1.6 Metas

- Obtener información técnica bibliográfica con referencia al tema del proyecto (rugosidades en superficies, desgastes en toberas de inyectores CRDI).
- Seleccionar tres marcas diferentes de inyectores (Bosch, Denso y Delphi), de tres vehículos diferentes y a dos condiciones de servicio (nuevos y usados).
- Obtener mediciones y comprobaciones de las rugosidades y desgaste tanto en condiciones iniciales y finales de los inyectores, con la ayuda del rugosímetro.
- Analizar los resultados obtenidos para generar conclusiones sugerentes.

1.7 Hipótesis

Mediante la utilización del rugosímetro, se determinará en qué tipo de marca de inyector CRDI existe mayor desgaste en la aguja de la tobera a iguales condiciones iniciales y similares tiempos de operación.

1.8 Variables de la investigación

1.8.1 Variable dependiente

Análisis de desgaste de las toberas de los inyectores de sistemas CRDI.

1.8.2 Variable independiente

A través del uso del rugosímetro.

1.9 Metodología

La metodología a usarse es la experimental debido a que, durante el desarrollo del experimento, pruebas de laboratorio y operación de variables; se obtuvo resultados de desgaste en las toberas de los inyectores, según el tiempo de uso de los mismos. Esto va a depender de las pruebas que arroje el rugosímetro.

En el proceso de investigación científica se utiliza varios métodos y técnicas según la ciencia particular de que se trate y conforme a los acuerdos concretos del objeto de estudio en el siguiente trabajo de investigación.

Hay métodos que son considerados como generales en cualquier rama de la ciencia en las diversas etapas que posea el proceso de la investigación. Para este caso en particular, se hace uso de los métodos: experimental, deductivo, sintético y comparativo.

1.9.1 Método experimental

Para la elaboración del proyecto de investigación se aplicó el método experimental que implica la realización de pruebas por medio de la utilización del rugosímetro para el análisis de desgaste de las agujas de las toberas en los inyectores CRDI de tres marcas diferentes (Bosch, Denso, Delphi) a una misma condición inicial y similar horas de uso.

1.9.2 Método deductivo

De acuerdo a los datos obtenidos por las mediciones en el método experimental se obtendrán valores típicos de desgaste (parámetros de medición del rugosímetro: Ra, Rq, Rz, Rt, Rv, Rp, Rm) en las agujas de las toberas de los sistemas CRDI.

1.9.3 Método inductivo

Según el desgaste que se vaya presentando (en función del número de horas de trabajo del inyector) en las agujas de las toberas de los inyectores CRDI (Denso, Delphi, Bosch) inducirá en que se vaya aumentando o disminuyendo las mediciones de rugosidad (μm) que se van a presentar en la pantalla principal del rugosímetro.

1.9.4 Método de síntesis

El método sintético es un proceso de razonamiento que tiende a reconstruir un todo, a partir de los elementos distinguidos; con la ayuda de los datos experimentales que se detallan en las mediciones de las rugosidades de la superficie de las agujas de las toberas aportan a conocer que marca comercial de inyector CRDI es la más eficiente desde un punto de vista del desgaste.

1.9.5 Método comparativo

Este método permitió confrontar la información obtenida por el rugosímetro, en el cual proporciona a la investigación valores iniciales y finales sobre la rugosidad de la superficie de las agujas de las toberas de los inyectores, tomando en cuenta tres marcas comerciales: Denso, Delphi y Bosch; perteneciente en los vehículos Toyota Hilux 3.0 cc, Hyundai Terracan 2.9 cc y Mazda BT-50 2.5 cc, respectivamente, y así de esta manera poder determinar cuál de ellas tiene mejores prestaciones ante la presencia de altas temperaturas y presiones a las que se exponen los inyectores.

CAPÍTULO II

“INYECTORES CRDI Y RUGOSIDADES SUPERFICIALES”

2.1 Inyectores CRDI

El inyector del sistema de Inyección Directa por Riel Común (CRDI), se encuentra constituido de dos partes fundamentales, una mecánica; y otra eléctrica que está constituida de una electroválvula la cual se encuentra regulada por la Unidad de Control Electrónica del motor (UCE), el inyector internamente posee diversas partes o elementos, como se pueden observar en la figura 2, que cumplen funciones vitales para el correcto desempeño del mecanismo de inyección (Antonio, 2000)

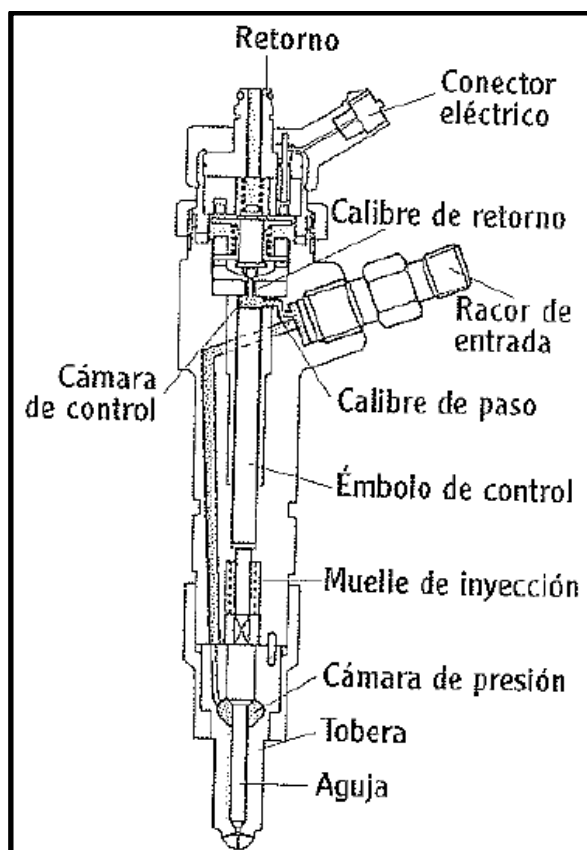


Figura 2. Partes del inyector CRDI

Fuente: (Antonio, 2000)

El funcionamiento de un inyector CRDI es similar a los mecanismos de inyección pertenecientes tanto a gasolina como diésel presentes en el mercado; así, el combustible que se encuentra en el riel llega al inyector y se distribuye en dos partes: una que va hacia la cámara de presión la cual se encarga de levantar la aguja, y la otra se dirige a la cara superior de la misma (cámara de control); de esta manera la aguja se queda sometida a dos fuerzas opuestas, manteniéndose en su asiento y el inyector cerrado por la acción del muelle de inyección. El momento que el

electroimán recibe la señal de la UCE, hace que la válvula se libere del control de la fuerza del muelle, la bola se levanta del asiento debido a la presión de la cámara de control, esto provoca que el diésel salga del retorno, disminuye la presión en esta cámara, consiguiendo que se desequilibre las fuerzas antes mencionadas en la aguja; ese momento la fuerza ascendente que se produce por el combustible en la cámara de presión vence el muelle y sube la aguja y se produce la inyección entre 2000 a 3000 bar, como se ilustra en la figura 3. (Antonio, 2000)

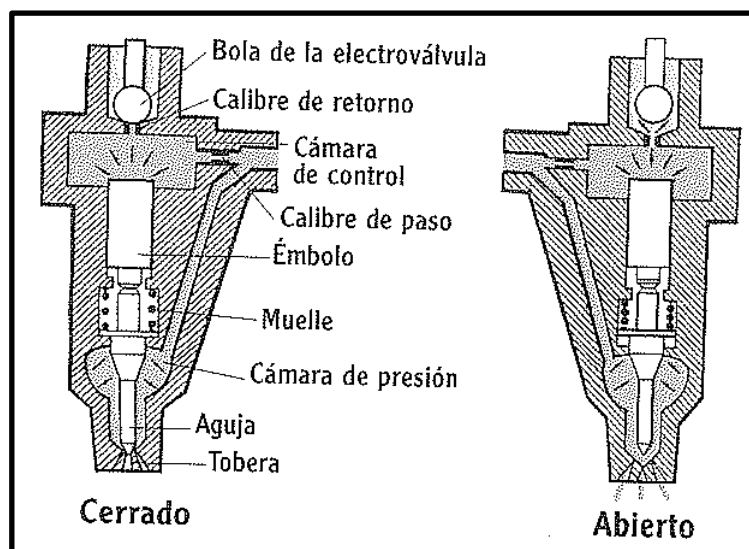


Figura 3. Funcionamiento del inyector CRDI

Fuente: (Antonio, 2000)

El electroimán que se encuentra en el inyector (electroválvula) es alimentada por la UCE debido a una descarga capacitiva, con valores de intensidad que varía de 12 a 20 amperios y una tensión de 50 a 80 voltios, con impulsos de 0,3 milésimas de segundo, esto depende de las necesidades del motor; el inyector ofrece una pre-inyección, inyección principal y post-inyección. La inyección o el trabajo del inyector se encuentran memorizados en la UCED en mapas de curvas que forman la cartografía. (Antonio, 2000)

2.2 Tipos de Inyectores CRDI

2.2.1 Sistema de Inyección CRDI Bosch

La inyección de diésel en este sistema de Bosch, en CRDI ofrece una mayor adaptación del sistema en el funcionamiento del motor, en consideración a los sistemas que ocupan propulsión por levas. La presión de la inyección se produce de manera independiente del régimen de motor y del caudal de inyección y se encuentra a disposición en el acumulador de combustible de alta presión. El conductor es aquel

que preestablece el caudal de inyección (aceleración) y la unidad de control electrónica (UCE) calcula en base a los campos característicos programados, y esta orden es dada a las electroválvulas para que el inyector actúe sobre cada uno de los cilindros del motor. (Peñañiel, 2016)

Los logros principales de este sistema es el incremento de la potencia del motor, así como también en la reducción del consumo de diésel y por ende una disminución de los gases contaminantes y del ruido en el motor. En comparación de los sistemas mecánicos convencionales con levas de empuje de inyectores, poseen altas prestaciones, dando presiones que sobrepasan los 1400 bar, inyección variable en el arranque y en las etapas de aceleración, controles de presión. (Cervantes, 2013)

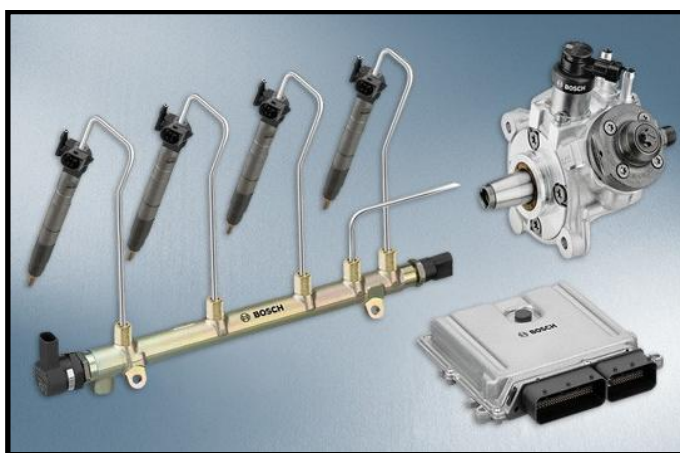


Figura 4. Partes principales de un sistema CRDI BOSCH

Fuente: (Bosch, S.F.)

El diésel se concentra en el riel (acumulador de alta presión). La cantidad de combustible que se inyecta depende de la aceleración producida por el conductor, mientras que las necesidades del motor, el inicio de la inyección y la presión de la misma son calculadas por el computador o unidad de control del sistema (UCE), elementos que se los representa en la figura 4; todo eso se encuentra basado en los mapas cartográficos. La UCE controla las válvulas solenoides de cada inyector instalado para cada cilindro del motor, para inyectar el caudal necesario. Para ello el computador recibe las señales de varios sensores como: CKP (sensor de posición del cigüeñal), APP (sensor de posición del pedal del acelerador), FRP (sensor de presión del riel), WTS (sensor de temperatura del refrigerante), MAF (sensor de flujo de masa de aire), etc. (Cervantes, 2013)

a. Inyector CRDI BOSCH

Estos inyectores se instalan de manera directa en la culata del motor, con la ayuda de una brida, como se ha nombrado anteriormente, vienen equipados con un sistema servo-hidráulico y una electroválvula. La cantidad de diésel que se inyecta depende de: duración de mando de la UCE, velocidad de apertura del inyector, cantidad y diámetro de los taladrados y presión de aceite en la rampa de inyección. La empresa Bosch ha desarrollado dos tipos de inyectores para el sistema Common Rail: electromagnético y piezoeléctrico. (Gómez, 2012)

a.1 Inyector electromagnético

La presión en este tipo de inyectores oscila entre 2000 bar, funcionan con electroimanes, y que estas electroválvulas están controladas por el computador, se usan corrientes muy importantes para poder activarlos (3 amperios) y que se produzca la inyección. En la figura 5 se puede observar que existen dos cámaras (2 y 3); el combustible de la alta presión ingresa por 1, y se va hacia la cámara inferior (2) y superior (3). Estas presiones son iguales sobre el vástago por lo que la presión del resorte gobierna en ese instante. Para que exista una caída de presión en 3, el solenoide retrae el resorte y así la esfera permite el paso del diésel que se encuentra en esa cámara hacia el retorno. Esto provoca que la alta presión que se ejerce en la cámara 2 venza la presión del resorte 4, desplazando la tobera y produciéndose la inyección, como se ilustra en la figura 5. (Gómez, 2012)

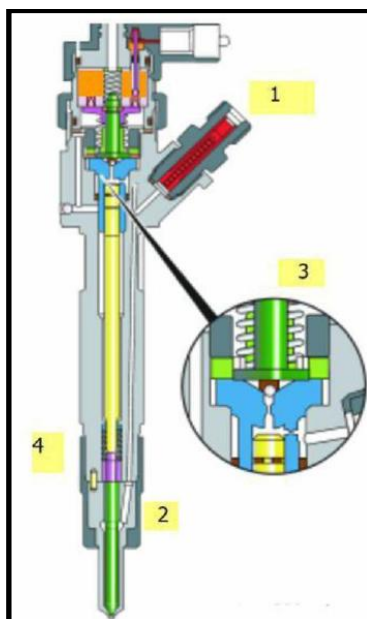


Figura 5. Inyector Bosch CRDI (electromagnético)

Fuente: (Gómez, 2012)

a.2 Inyector piezoeléctrico

Este tipo de inyectores tienen una velocidad de conmutación cinco veces superior a la de un electromagnético, por lo tanto, dosifica con más precisión y por ende se reduce la cantidad de emisiones contaminantes. Su característica principal es que funcionan con un elemento piezoeléctrico formado con dos placas metálicas y en medio posee un dieléctrico de cuarzo, se asemeja a la constitución de un capacitor de placas planas. En el momento que se le aplica el impulso eléctrico al elemento piezoeléctrico este se dilata 0,03mm, de manera contraria, si se le aplica una deformación mecánica, tiene a generar una tensión eléctrica. (Gómez, 2012)

Para el funcionamiento de estos inyectores, el computador (UCE) aplica 70 voltios sobre las placas del piezoeléctrico, con esto el cuarzo tiende a dilatarse. La tensión de la carga sube 0,2 milisegundos a 140 voltios y se mantiene así gracias a la presencia de un condensador, todo este proceso de dilatación hace que la aguja se abra y produzca la inyección; esta corriente se llama “de carga” y es de aproximadamente de 7 amperios. Para terminar con la inyección, es decir que se invierta la dilatación, se usa un pulso de corriente en sentido contrario llamada “de descarga”, lo que provoca que la aguja vuelva a su posición original, como se puede observar en la figura 6. (Gómez, 2012)

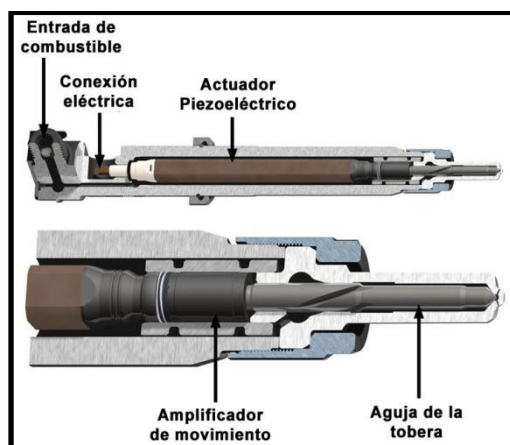


Figura 6. Inyector Bosch CRDI (piezoeléctrico)

Fuente: (Coslada, 2015)

b. Conjunto porta tobera (porta inyector)

La porta tobera son los mecanismos encargados de alojar a las toberas dentro de los motores diésel, cada cilindro necesita de la presencia de un porta tobera, como se ilustra en la figura 7. Además de mantener la tobera en la dirección del cilindro, tiene la función de conducir el diésel desde el riel hasta la tobera. Los porta tobera de

Bosch son producidos bajo estrictos controles de fabricación, si se utiliza una tobera de diferente manufactura en este sistema, se corre el riesgo de provocar una pérdida de presión, mala pulverización, fugas y por ende exceso de humo en los gases de escape. (Bepmale, 2012)



Figura 7. Modelos porta tobera (Bosch)

Fuente: (Bepmale, 2012)

c. Toberas (inyectores)

Estos componentes poseen una gran precisión en su acabado, ya que son los encargados de la pulverización del combustible en la cámara de combustión del motor. Las toberas con sus respectivas partes se las puede observar en las figuras 8 y 9. Mientras la pulverización sea mayor, el motor va a ofrecer al conductor mayor prestaciones en rendimiento, economía y medio ambiente. Normalmente los motores modernos vienen equipados con toberas las cuales en el proceso de pulverización trabajan a presiones y temperaturas elevadas, esto hace que se produzca la mayor potencia posible. (Bepmale, 2012)



Figura 8. Toberas de inyectores CRDI (Bosch)

Fuente: (Bepmale, 2012)

Hay que tomar en consideración que las toberas en algunos talleres se trata de reacondicionarlas por medio de un proceso de mecanización para “tratar de regresar”

a las medidas originales; pero esta rectificación produce un desprendimiento del recubrimiento de cromo, lo que puede comprometer la pulverización de la tobera y a corto plazo la vida del motor, ya que la punta de la tobera puede romperse y caer dentro del cilindro y provocar un daño mayor. (Bepmale, 2012)

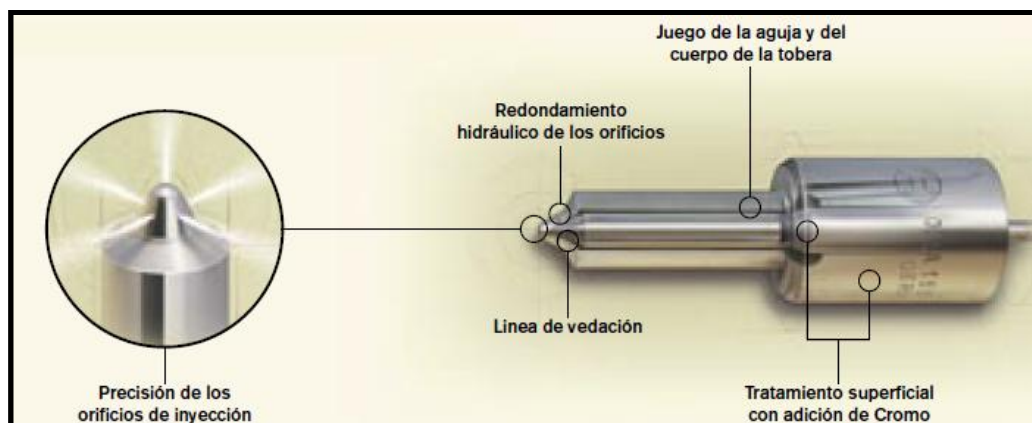


Figura 9. Partes superficiales en las toberas (Bosch)

Fuente: (Bepmale, 2012)

Tabla 1.

Características y Ventajas de las toberas Bosch.

Características	Ventajas	Beneficios
Precisión de los orificios de inyección	Pulverización perfecta	Combustión completa
Superficie con adición de cromo	Mayor durabilidad	Menor gastos de mantenimiento
Sellado total en la línea interna de contacto	Mayor sellado interno	No gotea el combustible (ahorro de dinero)

Fuente: (BOSCH, 2008)

d. Ficha técnica (designación del inyector)

Los inyectores Bosch se rigen a las tolerancias que exigen los fabricantes de motores diésel que normalmente corresponden a 0,005 mm; esta precisión garantiza una máxima fiabilidad de funcionamiento del motor. El tener una correcta aplicación del inyector exacto garantiza un perfecto funcionamiento en consumo, potencia, comportamiento de gases de escape, todos los parámetros de designación se los puede observar en la figura 10. (Bepmale, 2012)

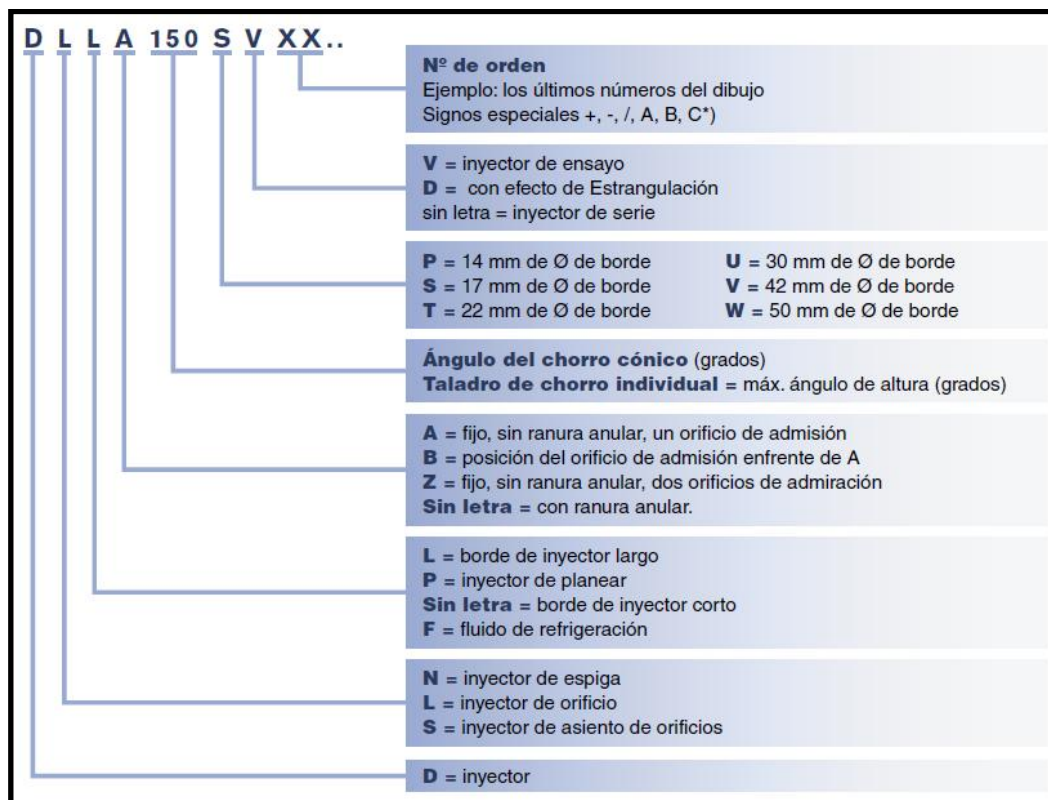


Figura 10. Designación de tipo de inyector (Bosch)

Fuente: (Bepmale, 2012)

e. Ficha técnica (designación del porta toberas)

Las combinaciones con fechas de homologación a partir de 1999 no contienen porta inyectores. Estas rotulaciones incluyen un número de pedidos de 10 dígitos de Bosch (en vez de la designación de tipo porta-inyector). También se modifican las combinaciones válidas con fecha de homologación anterior a 1999; como se puede ver en la figura 11. (Bepmale, 2012)

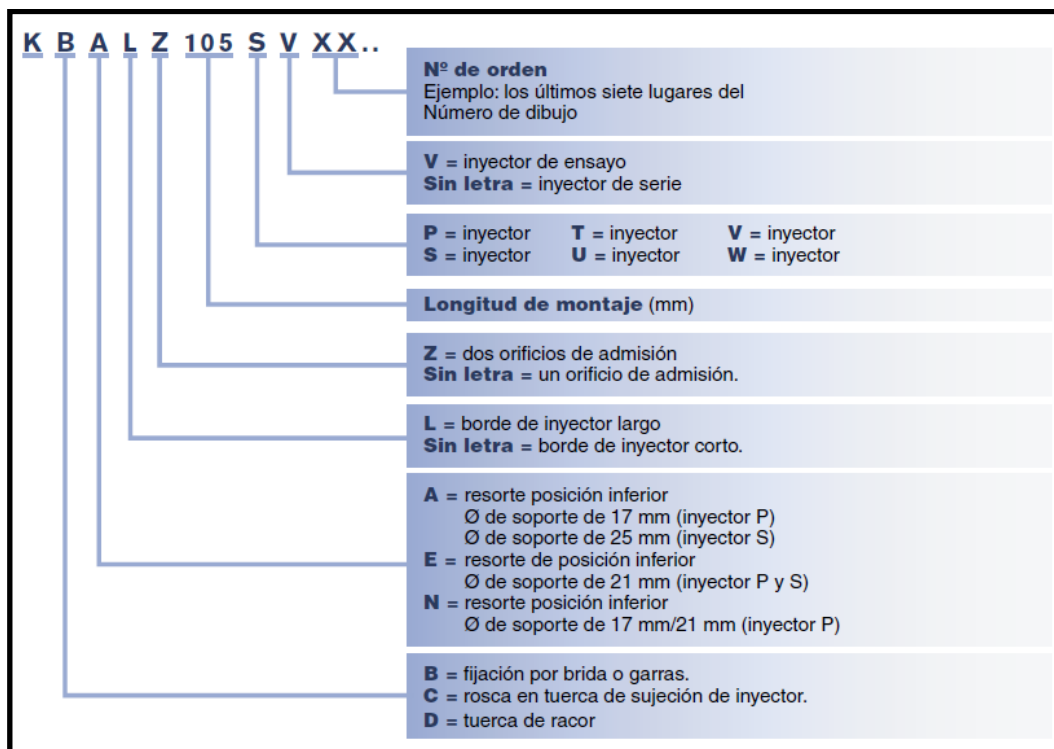


Figura 11. Designación de porta inyector (Bosch)

Fuente: (Bepmale, 2012)

2.2.2 Sistema de Inyección CRDI DENSO

Al igual que la mayoría de las marcas comerciales de sistemas de inyección de riel común, el combustible que se extrae de la bomba de alimentación se presuriza hasta alcanzar la presión necesaria para el funcionamiento del sistema. La bomba de alta presión con ayuda del émbolo y en función del régimen del motor y las condiciones de carga, se puede obtener presiones que oscilan entre 20MPa en estado de ralentí y a 135 MPa en condiciones de aceleración o regímenes altos. La presencia del computador o la unidad de control (UCE) es vital, ya que regula la presión del combustible que ingresa a la bomba de alta presión por medio de la válvula de control de aspiración (SCV) y detecta en todo momento la presión del combustible en el riel, a través del sensor FRP (presión de combustible en el riel) y lleva a cabo un control de retroalimentación. Como se puede observar en el diagrama de la figura 12. (Acción, 2013)

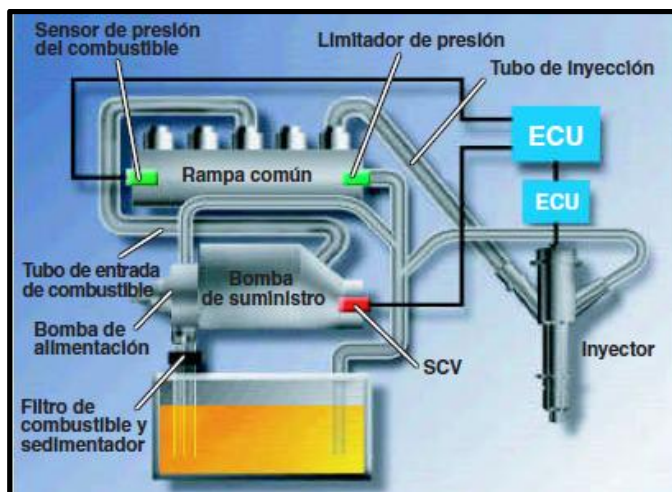


Figura 12. Sistema de alimentación CRDI DENSO

Fuente: (Acción, 2013)

a. Inyector CRDI DENSO

El inyector de esta marca se controla por medio de la TWV (válvula de dos vías) y un orificio, esta válvula controla la presión en la cámara de control, para regular de principio a fin la inyección. De esta manera el pistón de mando abre y cierra la válvula el momento de conducir la presión del combustible de la cámara de control a la aguja de la tobera. Cuando se abre la válvula de la aguja de la tobera, se produce la pulverización. La marca Denso posee tres modelos CRDI: X1, X2 y G2. (Corporation, 2004)

a.1 Construcción y características del inyector (tobera)

El inyector consiste en una tobera que tiene las mismas características de las toberas y porta toberas convencionales, además de la presencia de un orificio que va a ir regulando la relación de inyección, un pistón de mando y una válvula TWV, esta constitución es la misma para los modelos antes mencionados (X1, X2 y G2). El control de precisión de la pulverización se logra mediante un control electrónico proveniente del computador (UCE) a través de la TWV, la misma que consta de dos válvulas, una interior (fija) y otra exterior (móvil); como se puede ver en la figura 13. (Corporation, 2004)

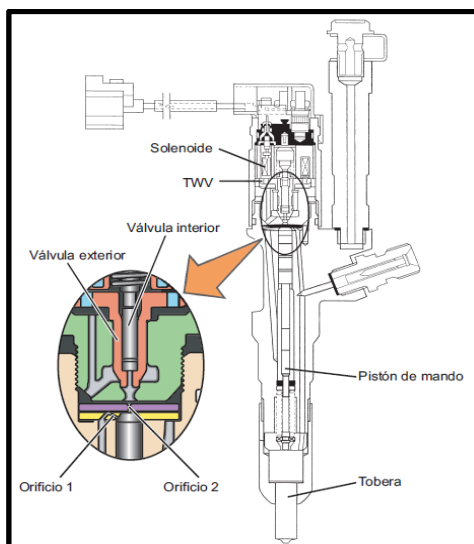


Figura 13. Partes y construcción del inyector CRDI DENSO

Fuente: (Corporation, 2004)

a.2 Funcionamiento del inyector

El momento que no se genera la acción de combustible, quiere decir que la TWV no está excitada, esto hace que se cierre el paso de la fuga de diésel desde la cámara de control, lo que provoca que la presión proveniente en la cámara de control y la presión que se aplica en la aguja de la tobera sean las mismas con la presión de la rampa o riel, esto genera que se cierre la aguja de la tobera, ya que se igualan fuerzas entre la superficie del pistón de mando y la fuerza del muelle de la tobera. Todas estas características provocan que el combustible no se pulverice en la cámara de combustión del motor diésel, como se muestra en la figura 14. (Corporation, 2004)

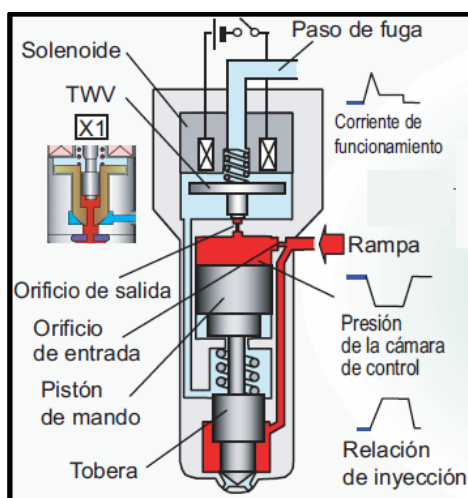


Figura 14. Inyector CRDI DENSO sin inyección

Fuente: (Acción, 2013)

En el instante en que se empieza a abrir la válvula solenoide, es decir que la válvula TWV empieza su excitación, debido a la señal que envía la UCE (tensión accionadora); este actuador permite el paso de fuga en la cámara de control, produce que la presión disminuya; con esto, la presión de la aguja presente en la tobera vence la fuerza que está sometiendo hacia abajo, la aguja sube y se empieza a producirse la inyección. En el momento que se producen fugas en el combustible en la cámara de control, el volumen se controla por el orificio producido por la apertura gradual de la tobera, se da un momento en que la aguja de la tobera se eleva a su punto máximo de la inyección. El combustible que sobra regresa al depósito de combustible por la línea de retorno, como se puede ver en la figura 15.

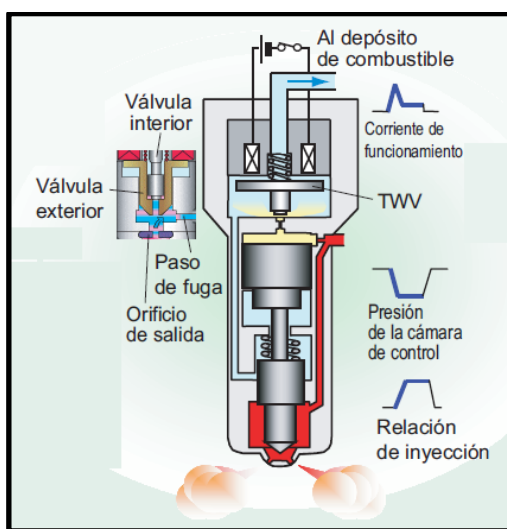


Figura 15. Inyector CRDI DENSO plena inyección

Fuente: (Acción, 2013)

Una vez que se produce el punto más alto de la inyección, el inyector empieza a dejar de pulverizar el combustible, debido a que la UCE deja de aplicar tensión a la TWV, hace que la válvula descienda ya que el resorte vence la fuerza, aumentando la presión en la cámara de control hasta igualar la presión de la rampa la tobera se cierra y la inyección se para; este proceso se puede observar en la figura 16. (Acción, 2013)

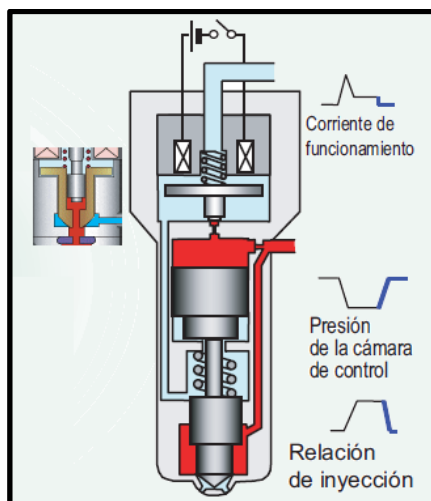


Figura 16. Inyector CRDI DENSO fin de inyección

Fuente: (Acción, 2013)

a.3 Inyector Denso con código QR

Uno de los beneficios al trabajar con los inyectores Delphi y de otras marcas comerciales son aquellos que vienen adaptados los códigos QR (quick response) llamados de “respuesta rápida” por sus siglas en inglés, sirve principalmente para mejorar la precisión de la corrección en estos actuadores. Este código posee los datos de corrección del inyector. El código se encuentra ubicado en la parte alta del inyector. Además del código antes mencionado, también están a su lado los códigos ID, que sirven para la identificación del producto, con esto se verifica su compatibilidad con los demás componentes DENSO del sistema de alimentación.

Los códigos QR han sido implementados por el DENSO y han dado como resultado un aumento considerable de los puntos de corrección de la cantidad de inyección del combustible, esto provoca que se mejore en regularidad la cantidad de inyección, como se puede observar en la figura 17. (Corporation, 2004)

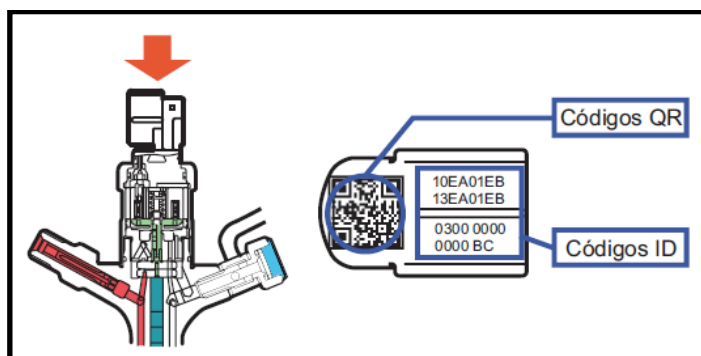


Figura 17. Códigos QR en inyectores DENSO

Fuente: (Corporation, 2004)

DENSO ha desarrollado estos códigos de dos dimensiones, además de los beneficios mencionados con relación a la mejora de precisión de inyección (datos de corrección), posee información sobre el número de identificación, el número del producto, que se pueden leer a velocidades sumamente altas; estos inyectores poseen una compatibilidad con la ECU del motor, reconocida para su corrección y funcionamiento, como los puntos de corrección que se puede observar en la figura 18; es así que cuando se reemplaza un inyector hay que registrar ese código para que no existan inconsistencias de funcionalidad. (Corporation, 2004)

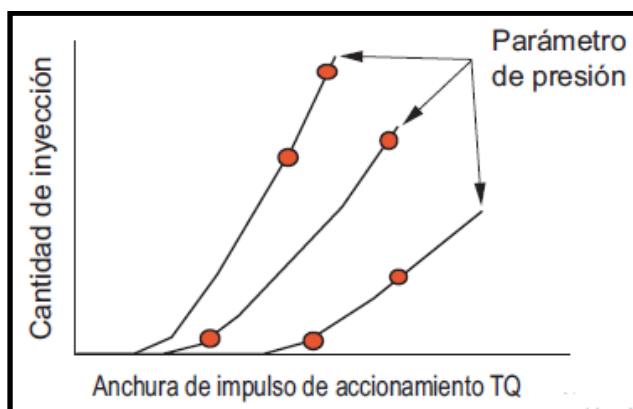


Figura 18. Puntos de corrección del código QR

Fuente: (Corporation, 2004)

2.2.3 Sistema de Inyección CDRI DELPHI

Este sistema de inyección tiene un principio de funcionamiento similar al del sistema Bosch. Es así que existen dos circuitos de alimentación: alta y baja presión. Este riel común va a permitir el control individual en el momento del avance de la distribución y del flujo, todas estas características permiten un control perfecto de la combustión en cada uno de los cilindros del motor diésel, como se puede observar en la figura 19. (Diagramas, 2008)

a. Características del sistema

El sistema Delphi de inyección CRDI se puede ajustar en un amplio rango de valores de suministro de combustible, de acuerdo a las condiciones en las cuales se esté desarrollando el motor. Por ejemplo, cuando el motor se encuentra en ralentí, es decir de carga baja, se registra una presión baja de inyección de 200 bar, esto hace posible tener valores de con una menor tasa de inyección un ajuste altamente preciso en el momento de pulverizar el diésel. El momento que el motor requiere más potencia o velocidad, se habla de un proceso de “a plena carga”, en la cual la inyección se la realiza a altas presiones de aproximadamente 1400 bar, esta presión

asegura una pulverización muy fina del combustible, lo que lo convierte en un sistema competente. (MOTORS, 2008)

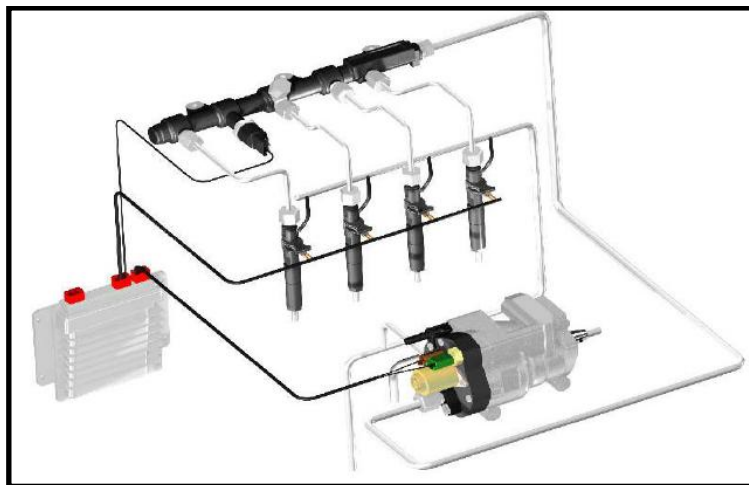


Figura 19. Esquema básico del CRDI DELPHI

Fuente: (MOTORS, 2008)

La ECM o Unidad de Control Electrónica es que se encarga de la inyección de combustible con su respectiva presión de pulverización, toma como referencia la señal de voltaje proveniente de los sensores que censan la temperatura del combustible, presión del riel, y varios parámetros del vehículo, como: velocidad, posición del pedal del acelerador, presión del turboalimentador, etc. Todo esto con el fin de enviar señales al actuador (inyector) para la pulverización. (MOTORS, 2008)

b. Funcionamiento

Como ya se mencionó con anterioridad este sistema emula al sistema Bosch, es decir que posee un circuito de alta presión y otro de baja presión. El circuito de baja presión es el encargado de recibir el flujo de combustible proveniente de la línea de retorno de la bomba de alimentación y la enviará de vuelta al tanque de combustible, además recibe el remanente de diésel de los inyectores, esta función lo cumple gracias a la presencia de un tubo venturi, el cual va a ayudar a crear vacío en aquella línea de retorno.

Mientras que el otro circuito, el de alta presión posee una bomba de Alta Presión (HP-High Pressure) de anillo de levas con 4 lóbulos, la cual tiene la función de comprimir el combustible que proviene del circuito de baja, hacia el riel por medio de tuberías de alta presión (1800 a 2100 Bar). Este riel se encarga de almacenar el diésel presurizado y se conectado a los inyectores por medio de las tuberías de alta presión. Los inyectores como en la mayoría de inductivos están

controlados electrónicamente por medio de la ECM, esto garantiza la introducción de la cantidad que se requiera de diésel hacia los cilindros. Como se ilustra en la figura 20. (MOTORS, 2008)

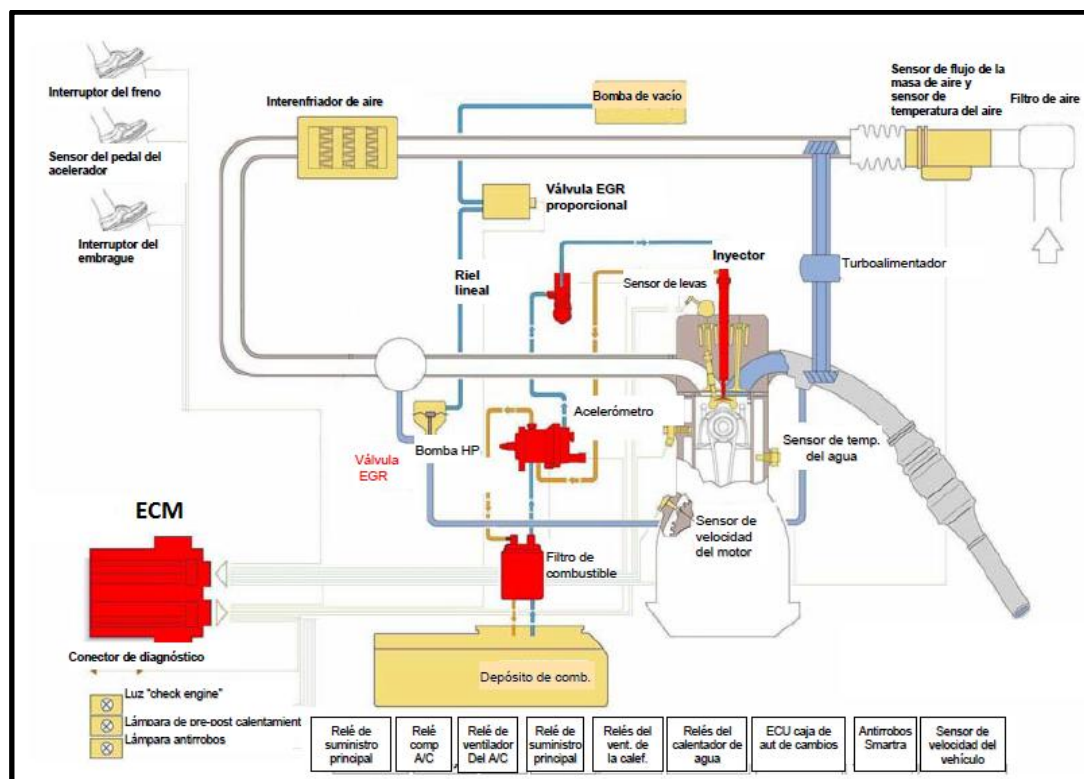


Figura 20. Circuito de alimentación del CRDI DELPHI

Fuente: (MOTORS, 2008)

c. Inyector CRDI DELPHI

Este actuador tiene la capacidad de inyectar el combustible según la cantidad que necesite en el momento exacto y correcto, se caracteriza por tener una variación lo más pequeña posible en relación al volumen de la inyección y de la demora en el comienzo de la inyección, como se puede ver en la figura 21. Se caracterizan por estar sujetos por medio de abrazaderas, la apertura de los inyectores se da por medio de un solenoide de la válvula de control que se encuentra electrónicamente controlada por la ECM, se caracteriza por realizar varias inyecciones: piloto, principal y posterior. El impulso de transmisión se da en dos partes: por corriente de tracción y corriente de sujeción. (MOTORS, 2008)



Figura 21. Inyector CRDI DELPHI

Fuente: (MOTORS, 2008)

c.1 Funcionamiento del Inyector DELPHI

En su primera fase, cuando el inyector no se encuentra pulverizando, eso significa que no se está enviando corriente a la válvula solenoide por parte de la ECM, la válvula de control por ende se encuentra cerrada, es así que la cámara de control tiene una presión igual a la presión que se encuentra en el riel, en todo momento la boquilla (tobera) se encuentra cerrada, como se ilustra en la figura 22. (MOTORS, 2008)

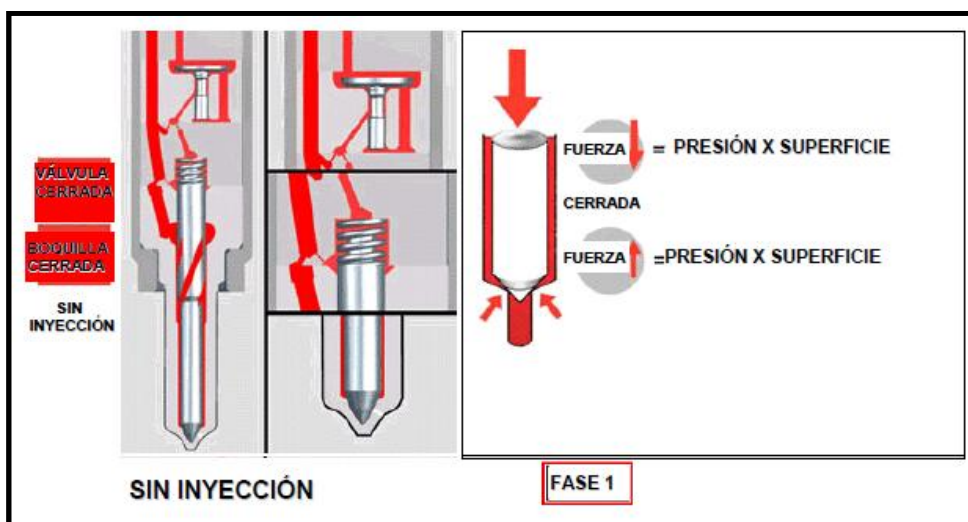


Figura 22. Inyector DELPHI sin inyección

Fuente: (MOTORS, 2008)

En la siguiente fase, es decir, cuando el inyector empieza a actuar con la ayuda de la excitación de la válvula solenoide, es en ese momento cuando la válvula de control recibe energía de la ECM; en ese instante la válvula de control sube, con lo cual obliga a que la presión del diésel existente en la cámara de control que regula la

aguja empiece a disminuir, pese a esto la boquilla o tobera sigue aún cerrada hasta el punto en que la presión ha bajado lo suficiente, en aquel caso, la presión que siempre se mantuvo constante fue la del combustible en el asiento de la aguja de la tobera. Esto obliga necesariamente a un desbalanceo de fuerzas y que la boquilla se mueva hacia arriba, permitiendo que se dé la inyección a la presión que se encontraba en el riel común del sistema, como se muestra en la figura 23. (MOTORS, 2008)

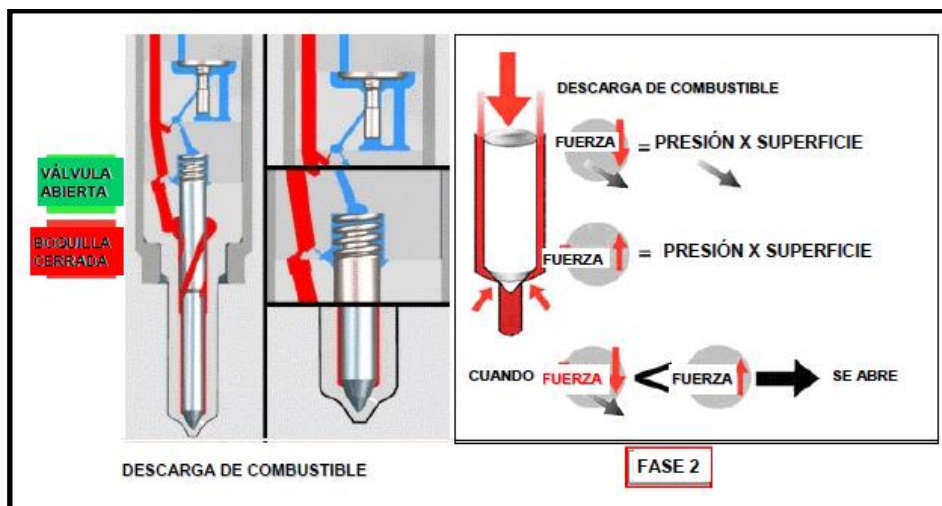


Figura 23. Inyector DELPHI inicio de inyección

Fuente: (MOTORS, 2008)

En la siguiente fase de operación de los inyectores es la plena descarga de combustible hacia los cilindros, esto se da principalmente por que los orificios de la inyección en la boquilla del inyector se encuentran abiertos y se da la pulverización. Este tiempo de descarga está directamente involucrado con el tiempo que permanece energizado el solenoide de la válvula de control. En este punto específico es donde se controla la cantidad de inyección para la presión determinada en el riel. En la figura 24 se puede observar las condiciones que se necesita en los inyectores para realizar una carga plena.(MOTORS, 2008)

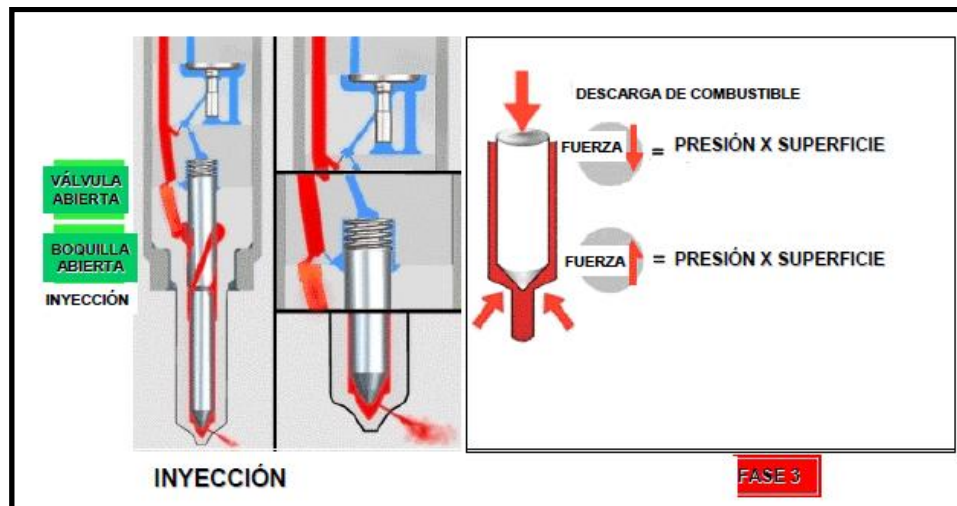


Figura 24. Inyector DELPHI a plena carga

Fuente: (MOTORS, 2008)

La fase 4 en el funcionamiento del inyector, es el proceso mediante el cual se empieza a cerrar la tobera y terminar la pulverización. En éste paso la ECM corta la corriente que está yendo al solenoide de la válvula de control, esta válvula al ser desactivada vuelve a su asiento debido a la fuerza que genera el resorte del solenoide; esto se produce principalmente porque la presión en la cámara de control de la aguja aumenta, haciéndose levemente mayor a la presión existente en el asiento de la boquilla, de esta forma la aguja se va cerrando y dando por terminado la inyección, como se observa en la figura 25. (MOTORS, 2008)

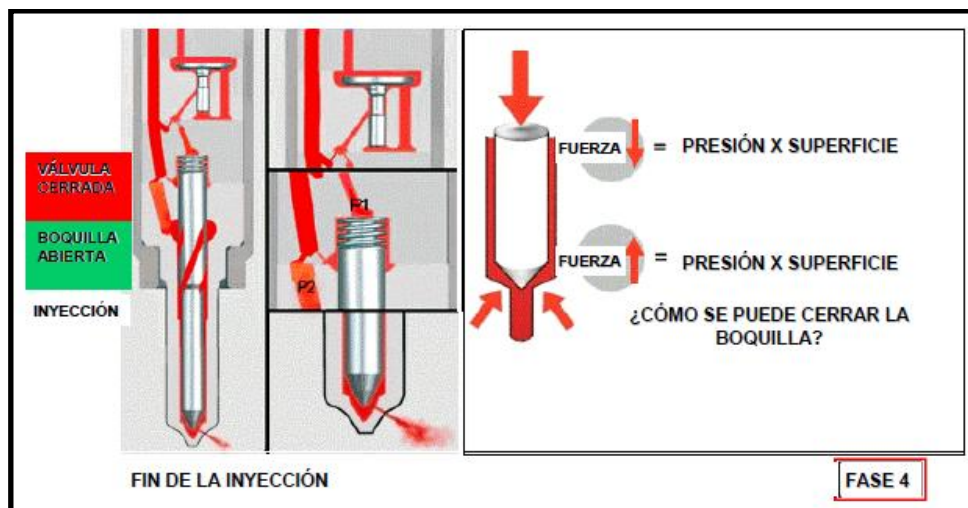


Figura 25. Inyector DELPHI a fin de inyección

Fuente: (MOTORS, 2008)

c.2 Identificación en el inyector CRDI DELPHI

Los inyectores de esta marca comercial, al igual que en Bosch y Denso, tienen en su estructura placas de identificación, los cuales permiten saber datos del inyector como la fecha de producción, lugar, línea de prueba, etc.; como se puede observar en la figura 26. Para poder identificar un inyector Delphi, se toma en consideración las siguientes nominaciones:

- Para saber que se trata de la compañía Delphi, se tiene como referencia que inician con las letras EJBR o EJDR.
- Los cuatro primeros dígitos representan el número de orden para el cuerpo del inyector.
- La letra siguiente representa el mes de producción del inyector: A (enero), B (febrero), hasta M (diciembre), no se usa la letra I.
- La letra siguiente es el año de la producción: U (2001), V (2002), etc.
- Las dos letras siguientes van a representar el día de la producción.
- La siguiente letra va a representar el lugar en donde fue ensamblado el inyector: W para La Rochelle y F para Blois (Francia).
- Los últimos números representan el número de la línea de prueba del producto. (Delphi, 2006)

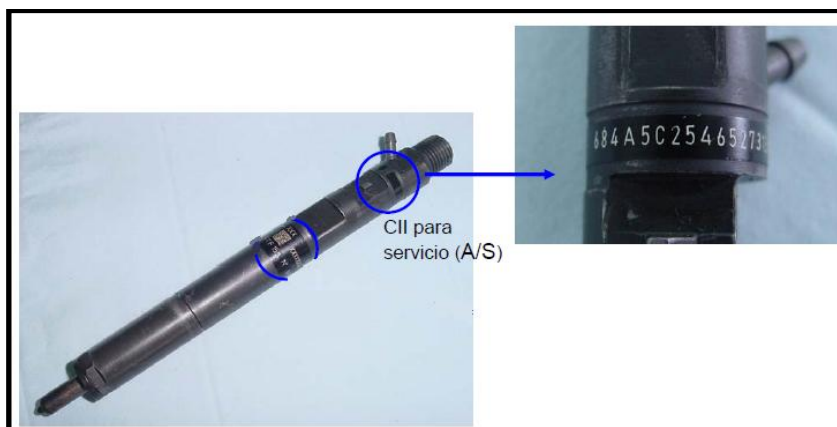


Figura 26. Código de identificación (Delphi)

Fuente: (Delphi, 2006)

De igual forma que los inyectores de otras marcas, estos poseen un código QR o de respuesta rápida, la cual puede ser registrada por el escáner automotriz o a través de una cámara de un smartphone con el lector de códigos para este tipo de código de barras bidimensional, este código es importante para recibir información acerca de la mejora de precisión de inyección (datos de corrección). Este código por lo general

se encuentra ubicado en la parte inferior del código de identificación, como se puede ver en la figura 27. (MOTORS, 2008)

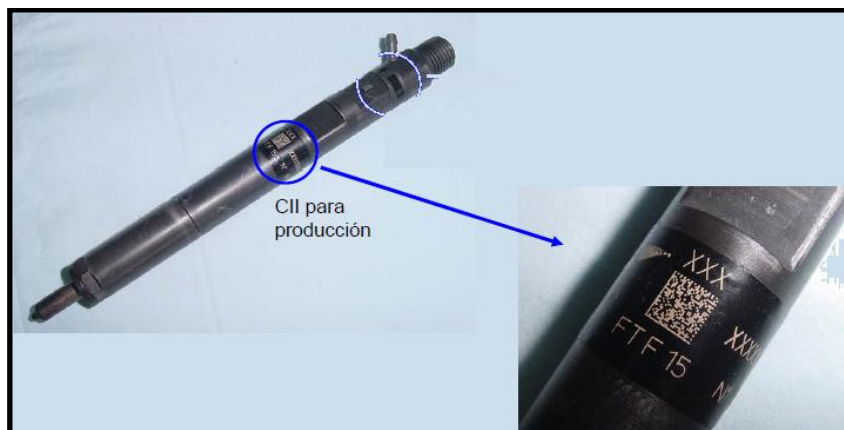


Figura 27. Código QR (Delphi)

Fuente: (Delphi, 2006)

2.3 Detalles de Portainyectores y Toberas

Con el único objetivo de que se cumpla una combustión en óptimas condiciones, se necesita de una pulverización fina, ya que lo primero que se quema de las gotas de diesel es su capa externa y luego la interna; es por ello que mientras más grande sea la gota, mayor será la capa exterior y por ende se demorará más en inflamarse. El combustible en el momento de la inyección a grande presión, hace que las partículas tengan movimientos rápidos en sentidos paralelo y transversal al eje del orificio de la tobera, dándose movimientos y velocidades irregulares lo que genera turbulencia, y al salir de la tobera al no encontrar la pared guía, se forma el cono de pulverización. (Alonso J. M., 2001)

El inyector sin importar cuál es su tipo o su marca comercial, se fija a la cámara de combustión por medio del portainyector, este a su vez da cabida al inyector o también llamado tobera, el cual se conforma de cuerpo (vástago) y aguja. Como se puede observar en la figura 28 en el cuerpo de la tobera se aloja la varilla de empuje que se aplica contra la aguja por la acción del muelle regulador; el orificio de entrada permite el paso del diesel, mientras que el restante de combustible circula alrededor de la varilla empujadora y luego por una canalización que hace que el diesel se regrese al depósito. En las superficies de unión entre el inyector al portainyector tienen que estar perfectamente mecanizadas para evitar fugas de combustible o disminución del caudal a inyectar, comprometiendo la vida útil del motor. (Alonso J. M., 2001)

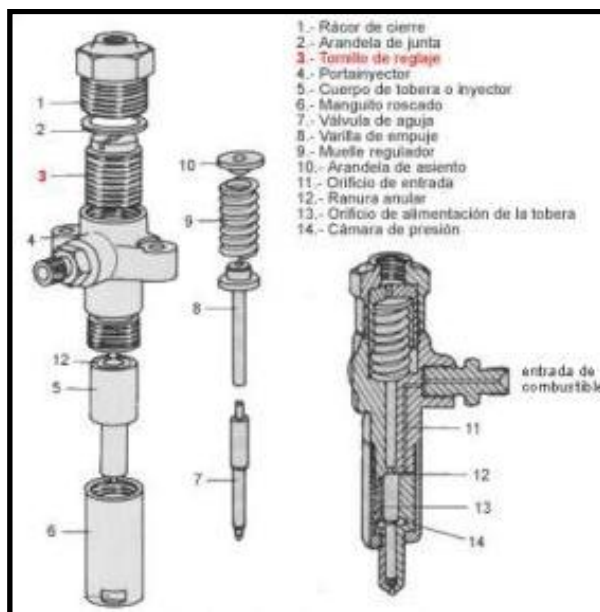


Figura 28. Portainyector y tobera (partes)

Fuente: (Alonso J. M., 2001)

2.3.1 Tipos de toberas

a. Toberas de orificio

Son toberas que realizan una inyección fuerte, y se da su apertura a presiones elevadas (entre 150 a 200 bar), este exceso de presión hace que se utilice solamente en los sistemas de inyección directa (GDI). Las agujas de este tipo de toberas se caracterizan principalmente por poseer dos secciones cónicas, la una se encarga de ayudar al levantamiento de la aguja (C) y la otra produce la estanqueidad (D). Normalmente estas disponen de varios orificios de salida del combustible y con la orientación conveniente para la pulverización hacia la cámara de combustión, ya que en varias ocasiones el inyector no se encuentra vertical sino más bien inclinado a la cámara de combustión, como se muestran en la figura 29. (Alonso J. M., 2001)

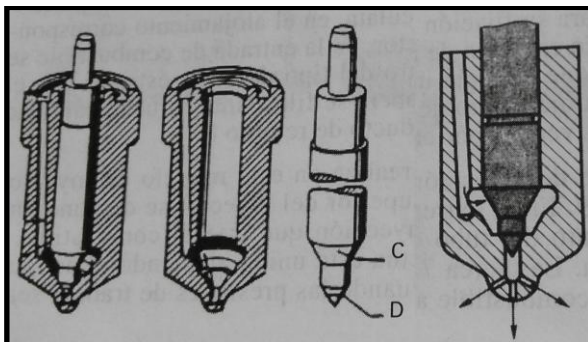


Figura 29. Tobera de orificio

Fuente: (Alonso J. M., 2001)

b. Toberas de tetón o espiga

Estos tipos de toberas se usan comúnmente en los motores que poseen un sistema de inyección indirecta, es decir aquellos que usan pre-cámaras de inyección, para este caso la presión oscila entre 90 y 125 bar. Se caracteriza por que la aguja en uno de sus extremos posee una espiga pulverizadora que tiene un pequeño juego con la pared del inyector, que según la forma de la espiga y en función de la medida, se genera el tipo de chorro de pulverización. Como se observa en la figura 30. (Alonso J. M., 2001)

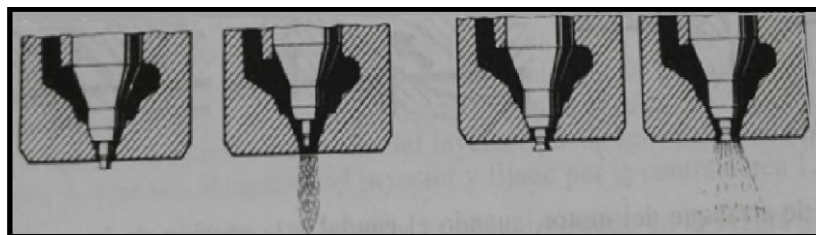


Figura 30. Tipos de chorro según forma tobera de tetón (izq. cilíndrico; der. cónico)

Fuente: (Alonso J. M., 2001)

2.3.2 Influencia de los detalles de acabado

Un buen acabado superficial, influye en la calidad de la pulverización, así como también dependerá del acabado que tenga los extremos de los orificios de la tobera de inyección. En muchas ocasiones los propietarios de los vehículos no comprenden porque al cambiar de inyectores de marca comercial, sienten que existen fallos en el automotor; esto se debe a que existe diferente maquinado y fabricación entre una y otro modelo de tobera. Una mayor o menor rugosidad en el acabado de la aguja (cono) de inyección incide en la cantidad de combustible que se acumula para la inyección. De igual forma el acabado en el vástago de la aguja incide en el problema anterior. (Miralles & Villalta, 1991)

Con el paso del tiempo, y del uso de horas en el inyector, se presentan desgastes principalmente en la zona del cono y el vástago de la aguja de inyección, es por ello que los problemas en el sistema de inyección, como la estanqueidad, fugas, etc. se deben a que se presenta un desgaste superficial superior a las 10 micras en las zonas antes nombradas. (Valderrama, Flores, Bejar, & Quispe, 2009)

2.4 Material usado en agujas de inyección

Las agujas de inyección son aquellos elementos que están sometidos a alta presión y temperaturas en el momento de la inyección de combustible en los motores CRDI. Este funciona como un pistón actuador que permite y hace posible la

inyección. Es por ello que los fabricantes buscan el mejor material que para que cumpla un trabajo aceptable, evitando errores como la cavitación, fugas, etc. Es por ello que se usa como materia prima el acero rápido de cementación cementado y revenido 18CrNi8, así como también W6Mo5Cr4V2. (EveryPatent, 1998)

Según la empresa Garner Espinoza CA, que brinda servicios en la industria diésel a nivel nacional y varios reconocimientos nacionales e internacionales, expone que los porcentajes de la composición química del material van variando de marca en marca, debido a las variaciones dimensionales de la aguja (coeficientes de seguridad) y las diferencias de presiones que se pueden generar en cada sistema (Bosch, Denso, Delphi, etc.)

2.4.1 Composición química del material

El acero rápido 18CrNi8, posee las siguientes composiciones y propiedades como se puede ver en las tablas 2 y 3:

Tabla 2.

Propiedades del acero 18CrNi8 y W6Mo5Cr4V2

BOSCH							
Material	Nominación DIN	Nombre abreviado	Composición principal	Dureza HV (orientativa)		Características	Indicaciones
				superficie	núcleo		
Acero de cementación cementado y revenido	17210	18CrNi8	0,18 C	700	450	Los valores característicos de los materiales medidos en pruebas de tracción no son apropiados para un dimensionado de componentes duros	- Alta resistenci
			1,8 Cr				a al
			1,8 Ni				desgaste.
			0,4 Mn				- Alta
			0,035 P				resistenci
			0,035 S				a a la fatiga.
						- Posibilid	
						ad	creciente
						de	de temple.
DENSO / DELPHI							
Material	Nominación DIN	Nombre abreviado	Composición principal	Dureza HBW		Características	Indicaciones
Acero rápido	13343	W6Mo5Cr4 V2	0,8 C	132		Los valores característicos de los materiales	- Alta
			0,2 Si				resistencia
			0,15 Mn				a la fatiga.
			0,03 P				- Alta

0,03 S	medidos en	resistencia
3,8 Cr	pruebas de	al desgaste.
4,5 Mo	tracción no son	- Resiste
1,75 V	apropiados para	ncia al
5,5 W	un	desgaste en
	dimensionado	caliente
	de componentes	
	duros	

Fuente: (Bosch, Manual de la Técnica del Automóvil, 1999)

Tabla 3.

Características varias del acero 18CrNi8 y W6Mo5Cr4V2

BOSCH							
Material	Potencial Electroquímico	Densidad	Elongación	Resistencia Tracción	Límite de elasticidad	Módulo de Young	Temperatura de fusión
18CrNi8	-0,45 v	7850 Kg/m ³	7%	1450 MPa	800 MPa	210000MPa	1540° C

DENSO / DELPHI							
Material	Resistividad eléctrica específica (Ωmm ² /mm)	Densidad	Elongación	Resistencia Tracción	Límite de elasticidad	Coefficiente de Poisson	Temperatura de fusión
W6Mo5Cr4V2	0,41	123000 Kg/m ³	14%	> 265	843 GPa	224	1727 °C

Fuente: (Matbase, S.F.)

2.5 Averías en los inyectores

2.5.1 Síntomas de malfuncionamiento en motores Diésel

Como ya se habló en los temas anteriores, el inyector es el encargado de la pulverización del combustible hacia los cilindros del motor para su combustión, estos trabajan a grandes presiones (2000 bar por minuto) y temperaturas (500°C a 600°C), es por ello que este elemento está sujeto a desgaste de materia, impregnaciones de carbonilla, concentraciones de barniz, bloqueo de la aguja, cuerpos extraños en el asiento de la tobera, pérdidas de presión, etc. Es por ello que al tener elementos desgastados puede afectar de manera considerable al funcionamiento del motor diésel causándole inestabilidad.

Cuando se presentan estos inconvenientes en los inyectores, se dan problemas en el automóvil desde un punto de vista mecánico funcional, por ejemplo, se tiene las siguientes causas, cuando un inyector está averiado:

- Marcha mínima irregular.

- El motor no desarrolla en el momento de su aceleración.
- Complicado en arranques en frío.
- Existe un consumo elevado de combustible.
- El motor empieza a fallar a altas velocidades.
- Excesiva emisión de humo de color negro en el escape.
- Aumento de la temperatura del motor.
- Mayor ruido de golpeo en el motor. (Redacción, 2012)

2.5.2 Averías en el conjunto de la tobera

En la tabla 4 que se presenta a continuación se muestran los principales problemas o averías que se pueden presentar en el conjunto de la tobera de inyección, cabe recalcar que este conjunto está conformado por la aguja, cuerpo de tobera y el muelle de la aguja.

Tabla 4.

Averías en el conjunto de la tobera

Conjunto	Pieza	Averías
Conjunto de la tobera	Aguja	Presencia de partículas en las ranuras de alimentación
		Rebabas en las ranuras de alimentación.
		Rayaduras.
		Daños en el cono de la aguja (ver figura 31).
		Deformación en el lado del separador.
		Restos de corrosión.
	Cuerpo de tobera	Restos de agarrotamiento.
		Resaltes
		Restos de fugas
		Rayaduras en la superficie de presión.
		Corrosión en la superficie de presión.
		Grietas alrededor del orificio HP.
	Muelle de aguja	Presencia de partículas y/o virutas.
		Rayaduras en el diámetro.
		Orificios de inyección bloqueados.
		Presencia de partículas en las bobinas (solenoides).
		Muelles rotos.

Fuente: (Delphi, 2006)

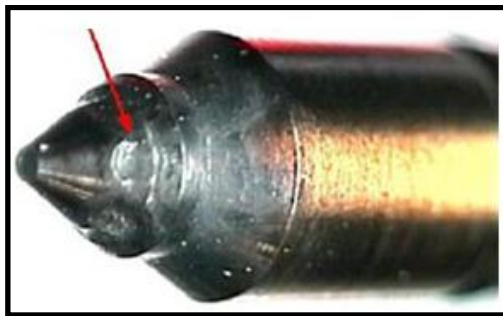


Figura 31. Desgaste de la aguja de la tobera de inyección

Fuente: (López&López, 2008)

2.5.3 Comprobaciones de fallas en los inyectores (toberas)

El inyector es una pieza fundamental en el sistema de alimentación, una falla o avería en cualquiera de las partes de esta, genera problemas en el motor, incluso puede afectar a dañarlo, de forma que este necesite una reparación. Es por ello que se debe realizar verificaciones a estos componentes, se deben inspeccionar las caras de la unión del soporte de la tobera y el portainyector. Para este caso es necesaria la presencia del rugosímetro para comprobar el desgaste que este pueda tener. En el caso que existieran rayaduras, presencia de corrosión o deformaciones, el inyector o el componente deberá ser reemplazado.

Las partes que están expuestas a rayaduras, desgastes u obturaciones, son las superficies de acoplamiento de la aguja del inyector con su respectiva tobera. Un claro ejemplo de que se está produciendo un desgaste anormal de este componente es la presencia de un color azulado en las superficies (destemplado del material) antes mencionadas. El asiento de la aguja debe presentar un buen acabado mate por lo general en las zonas de contacto, si se presenta rayaduras o pérdida ajuste entre la aguja y la tobera, estas deben ser reemplazadas. (Dani, 2014)

Otra de las comprobaciones que se realiza en un inyector, es la zona del conjunto de la tobera, es decir se tiene que verificar que la aguja se desliza fácilmente en el interior de la tobera, sin la presencia de agarrotamiento ni holguras. Para esta prueba se mantiene a la tobera en la posición vertical, por ello la aguja debe de caer hasta el fondo del asiento debido a su propio peso. Apretando ligeramente sobre ésta con los dedos contra el asiento, invertir la posición, la aguja debe permanecer en su asiento; si el conjunto se encuentra empapado de diésel, al golpearla suavemente la aguja debe caer libremente. Como se muestra en la figura 32. En el caso de que no ocurra esta situación, se deberá desarmar nuevamente al conjunto para limpiarla, si al

realizar de nuevo la prueba, esto no es suficiente, se debe sustituir el conjunto de la tobera. (Dani, 2014)

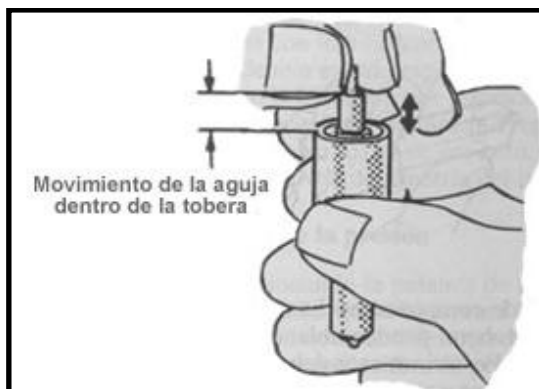


Figura 32. Comprobación de la aguja

Fuente: (Dani, 2014)

En el portainyector lo que se revisa principalmente es la varilla de empuje, en este elemento no debe existir deformaciones ni la presencia de golpes, se debe dar preferencia de visualización al estado de desgaste. Además de aquello hay que comprobar el estado del muelle y del dispositivo de reglaje.

Una vez que las pruebas estén finalizadas con éxito, se debe verificar la elevación de la aguja en el asiento, esta se encuentra limitada de funcionamiento en el momento de la inyección, en el instante en que la parte superior de la aguja hace contacto con la superficie del acople del portainyector.

La elevación de la aguja debe estar comprometida en límites, toda esta distancia va a influir en la calidad de la inyección, en caso de que la aguja tenga poca elevación va a provocar un descenso considerable de la presión del combustible que va a salir de los orificios, esto empeora la penetración y la pulverización en la cámara de combustión. En caso contrario de que haya una elevación excesiva va a producir un fuerte golpeteo de la aguja contra su asiento, en el momento del cierre de la inyección, esto provoca un alto desgaste lo que acorta considerablemente el tiempo de duración de la tobera. (Dani, 2014)

2.5.4 Pruebas básicas a los inyectores

Es indispensable que antes de hacer las pruebas en los inyectores, primero es necesario colocar el inyector en el banco de prueba según las recomendaciones del fabricante. Hay purgar la bomba y la tubería de combustible de igual forma siguiendo las especificaciones del constructor en la cual se pueda obtener una inyección dos o tres veces mayor con el fin de desalojar cualquier partícula de

carbonilla o de suciedad que se encuentren alojadas en el conjunto de la tobera del inyector.

a. Prueba de zumbido

Para que exista una pulverización correcta del diésel se precisa que la aguja del inyector oscile hacia atrás y hacia adelante a una alta frecuencia, en el momento de la inyección. También influye principalmente a que se produce una variación de presión de impulsión en el momento comprendido entre el inicio y el fin de la inyección. Este cambio de presiones hace que exista la vibración en la válvula de aguja del inyector, esto produce un zumbido.

En caso de que esta vibración no se escuche o que sea irregular se debe por lo general a que el inyector se encuentra averiado, o también hay la probabilidad de que la válvula de aguja se encuentre pegada. (Pintos, 2008)

b. Forma de chorro

Un chorro que no es uniforme, posee un semblante estriado, cortado o fragmentado, esto es indicio de que la tobera del inyector se encuentra sucia, obstruido de carbonilla o presenta algún tipo de daño. La forma de chorro que se desea en este tipo de prueba debe ser de forma regular, como se muestra en la figura 33, en forma de abanico y centralizado en función del eje de la aguja, sin interrupciones, cortes y lo fundamental sin goteos. (Pintos, 2008)

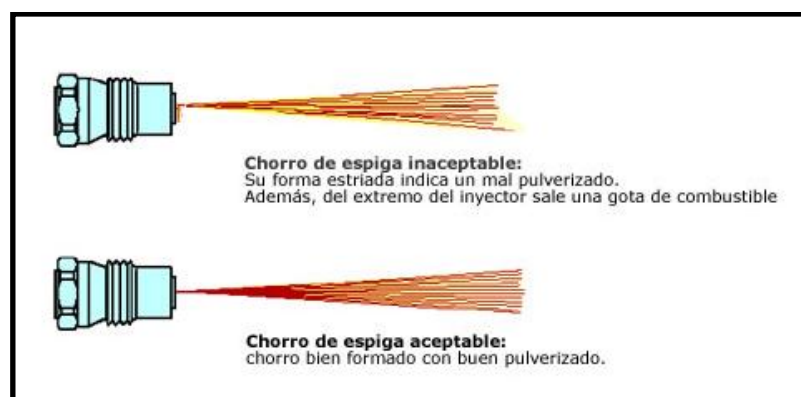


Figura 33. Inyección aceptable e inaceptable

Fuente: (Dani, 2014)

c. Presión de apertura del inyector

El momento que se alcanza una presión determinada en la tobera del inyector (dada por el fabricante 175 bar por lo general) se tiene que abrir para producir la pulverización sin la presencia de goteos de combustible. Para este caso es necesario

ubicar la presión de funcionamiento en el banco de prueba sea de forma manual o electrónica, y verificando la presión del manómetro. Si la presión que se necesita para la apertura del inyector es mayor, eso quiere decir que la espiga se encuentra pegada, que existe una obstrucción en la tobera o que la precarga del muelle de presión es incorrecta. Caso contrario si la presión que se necesita para abrirlo es menor a la recomendada eso quiere decir que la válvula de aguja se encuentra pegada en la posición abierta, que el muelle pueda estar roto.

De forma normal la presión de la apertura se lo ajusta levemente por encima del recomendado, esto con el fin de compensar la reducción de presión que se produce en l fase de inicio de inyección. Por ejemplo, una presión regular es de 175 bar, pero la más factible es calibrarlo en 180 bar. Este proceso se puede realizar ya que algunos inyectores poseen tornillos de ajuste, verificando primeramente la tuerca de bloque, la que permite mover el mecanismo de ajuste de presión. (Pintos, 2008)

d. Goteo por el inyector

En esta prueba el inyector debe mantener la presión de 175 a 180 bar durante el tiempo que estipula el constructor sin producirse fugas de combustible. El método más factible y fácil de verificar esto, es colocar un pedazo de papel absorbente en la parte inferior del inyector mientras se da la prueba. Si el inyector gotea luego después de limpiar la tobera y la válvula de aguja, se deberá sustituirlo. (Pintos, 2008)

e. Fugas internas del inyector

Esta prueba consiste en medir el tiempo en el que se demora en realizarse una caída sostenida de la presión del diésel desde un valor por debajo de la presión de apertura hasta un inferior. Se debe tomar en cuenta que no se dé goteos. Una caída de presión muy rápida informa que la holgura entre el vástago de la aguja y su alojamiento (cuerpo del inyector) es muy ancha; este estado provoca que reemplacen los inyectores.

La presencia de un inyector que se encuentre averiado puede provocar daños en la bujía de incandescencia, es por ello que se debe verificar el funcionamiento de esta, cuando hayan existido problemas en el inyector. (Pintos, 2008).

2.6 Rugosidades Superficiales

“La rugosidad superficial, se refiere a las desviaciones pequeñas, espaciadas finamente, de la superficie nominal y que están determinadas por la característica del material y el proceso que formo la superficie”. (Groover, 2007)

Toda pieza mecánica tiene una tolerancia de fabricación; y está a la vez se pierde si la irregularidad de la superficie, es mayor que dicha tolerancia. (GTM, 2012)

Cuando se realiza un análisis del aspecto de la superficie de una pieza mecánica en este caso las toberas de los inyectores CRDI, este estudio va depender fundamentalmente del material con el cual fueron fabricados, y su proceso de conformado.

El proceso de fabricación de los inyectores CRDI, están basadas a normas de calidad:

- ISO 468:1982; esta norma trata sobre la rugosidad superficial de los materiales, parámetros, valores y reglas generales.
- ISO 4287:1997; esta norma trata sobre la calidad superficial, parámetros del estado superficial de los materiales.
- ISO 1302:1978; esta norma trata sobre las indicaciones de los estados superficiales en los dibujos.

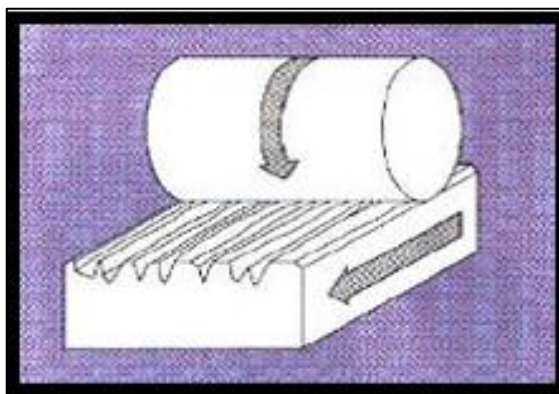


Figura 34. Pieza rugosa

Fuente: (Arrizabalaga, 2010)

Existen superficies sin mecanizar en la cual el tamaño de sus rugosidades depende del proceso de fabricación de la pieza en bruto. (Arrizabalaga, 2010)

Cuando existe rugosidad en alguna pieza se genera también una orientación de rugosidad, la cual adopta la forma de una sucesión de crestas y valles como se puede observar en la siguiente figura 35.

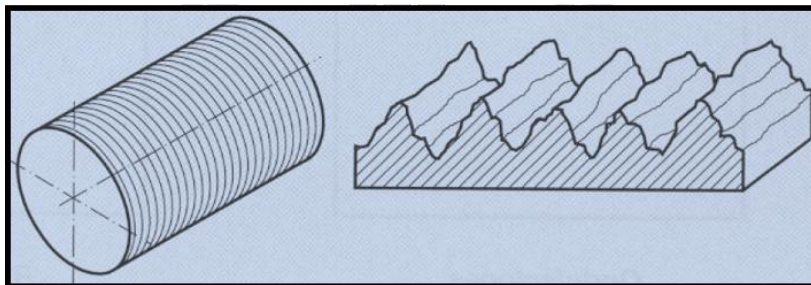


Figura 35. Crestas y valles

Fuente: (ingenieria-mecánica, 2014)

2.6.1. Estimación de la rugosidad

El parámetro más utilizado para estimar una rugosidad de una pieza mecánica; en este caso las toberas de los inyectores CRDI, se denomina Ra; “la cual es la media aritmética de las desviaciones de la curva del perfil, con respecto a la línea media de la longitud básica”. (Alonso, 2010)

La longitud básica, es donde se medirá la rugosidad superficial, y además donde actuará el aparato de medición de rugosidades denominado rugosímetro.

En la siguiente figura se estimará la rugosidad Ra. (Alonso, 2010)

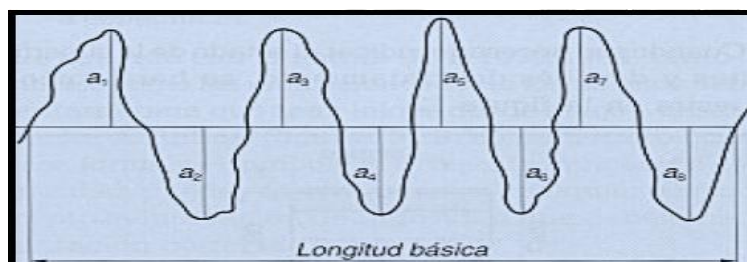


Figura 36. Curva de rugosidad

Fuente: (ingenieria-mecánica, 2014)

Con la siguiente expresión, que se muestra en la ecuación 1, se puede determinar la estimación de la rugosidad:

$$\mathbf{Ra} = \frac{|a_1|+|a_2|+\dots+|a_n|}{n} \text{ Ecuación 1. Estimación de rugosidad}$$

Donde:

a_n = Alturas de las crestas y profundidades de los valles

n = Número total de crestas y valles

a. Medida de la rugosidad

El aparato que se utilizará para obtener una medida de rugosidad es denominado rugosímetro; el cual determina electrónicamente el perfil de la pieza en

nuestro caso las toberas de los inyectores CRDI, en un área transversal con respecto a la dirección de las estrías, como se puede observar en la figura 37. (Alonso, 2010)

Para medir la profundidad de la rugosidad media se debe obtener en 10 puntos de Rz, y el valor de Ra expresada en micras. En la siguiente figura se observará las partes de un rugosímetro.

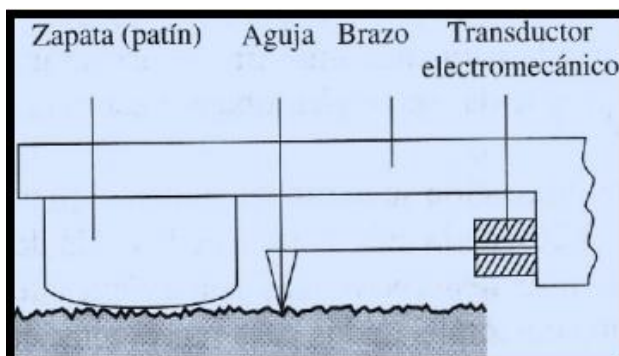


Figura 37. Partes de rugosímetro

Fuente: (ingeniería-mecánica, 2014)

b. Clases de rugosidad

Los valores de rugosidad se clasifican en intervalos de N_x ; siendo el subíndice x números del 1 al 12. Como se muestra en la tabla 5.

Tabla 5.

Clase de Rugosidad

Rugosidad Ra (um)	Clase de rugosidad
50	N12
25	N11
12,5	N10
6,3	N9
3,2	N8
1,6	N7
0,8	N6
0,4	N5
0,2	N4
0,1	N3
0,05	N2
0,025	N1

Fuente: (Jensen, 2004)

Grados de rugosidad:

- N1-N4: La superficie es especular
- N5-N6: Las huellas del mecanizado solamente se aprecian con lupa.
- N7-N8: Las huellas del mecanizado se aprecian con la vista.
- N9-N12: Las huellas del mecanizado se aprecian con la vista y con el tacto.

c. Clase de rugosidad y aplicación

Tabla 6.

Clase de Rugosidad -Aplicación

Rugosidad	Aplicación
N1	Espejos, bloques patrón
N2	Planos de apoyo de relojes comparadores
N3	Herramientas de precisión, cojinetes súper acabados, acoplamientos de alta presión, superficies bruñidas de retención sin retén.
N4	Soportes de cigüeñales, árboles de levas, pies de válvulas, superficies de cilindros de bombas hidráulicas, cojinetes lapeados, agujas de inyectores, reductores.
N5	Superficie exterior de pistones, acoplamientos efectuados a presión, asientos de válvulas.
N6	Tambores de freno, agujeros brochados, dientes de engranaje, superficies de piezas deslizantes.
N7	Caras de engranajes, árboles y orificios de engranajes, cara de embolo.
N8	Pernos y cojinetes para transmisión, superficies de acoplamiento de partes fijas desmontable.
N9	Superficies laterales de retención con retenes normales.

Fuente: (ingeniería-mecánica, 2014)


d. Clase de rugosidad-proceso de fabricación

Tabla 7.

Clase de Rugosidad según proceso de fabricación

Proceso de Fabricación	Ra (um)	0.025	0.05	0.1	0.2	0.4	0.8	1.6	3	6	12	16	20	25
Desbarbado oxicorte									■	■	■	■	■	■
Torneado, fresado, limado					■	■	■	■	■					
Taladrado						■	■	■	■					
Cepillado							■	■	■	■	■	■	■	■
Rectificado			■	■	■	■	■	■						
Lapeado		■	■	■	■									
Pulido		■	■											
Laminación en caliente										■	■	■	■	■
Moldeo en arena									■	■	■	■	■	■
Forja							■	■	■					
Moldeo en coquilla						■	■	■						
Moldeo a presión					■	■	■	■						
Laminado, estirado				■	■	■	■	■						
Extrusión			■	■	■	■	■	■						

Fuente: (ingeniería-mecánica, 2014)

Rugosidad más frecuente: 

Rugosidad menos frecuente: 

2.7 Parámetros de rugosidad

Los parámetros de rugosidad se clasifican en tres grupos:

- Parámetros basados en la medida de la profundidad de la rugosidad
- Parámetros que se basan en medidas horizontales
- Parámetros que se basan en medidas proporcionales

2.7.1 Parámetros basados en la medida de la profundidad de la rugosidad

a. Rugosidad media aritmética (Ra)

Este valor es la media aritmética de los valores absolutos de las coordenadas de los puntos del perfil de rugosidad en comparación a la línea media. A continuación, se muestra una figura indicando el parámetro Ra. (GTM, 2012)

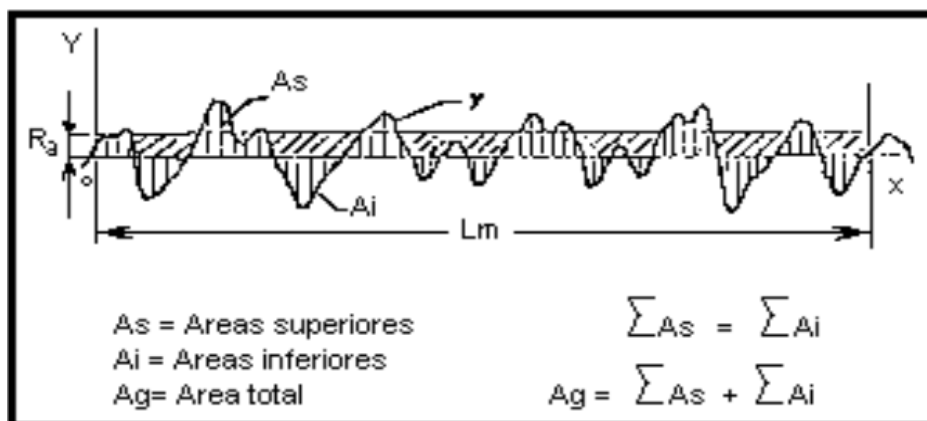


Figura 38. Medida de Ra

Fuente: (GTM, 2012)

En la figura 38 se observa el parámetro de medida Ra, cuya área es igual a la suma absoluta de las áreas de las crestas y los valles (As y Ai). La rugosidad media aritmética de una superficie se puede obtener matemáticamente con las expresiones 2 y 3 que se muestran a continuación:

$$Ra = \frac{1}{Lm} \int_0^{Lm} |y| dx \quad \text{Ecuación 2. Rugosidad media aritmética}$$

$$Ra = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |Y| \quad \text{Ecuación 3. Rugosidad media aritmética (2)}$$

Donde:

Lm= longitud de medición

Y= Ordenada

n= Número de ordenadas consideradas

El valor de Ra está dado en μm en el sistema métrico y en μin en el sistema inglés. El módulo de medición Cut-Off y la longitud de medición están en dependencia de Ra, tal como se muestra en la siguiente tabla. (GTM, 2012)

Tabla 8.**Cut-off y longitud de medición**

Ra (um)	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: (GTM, 2012)

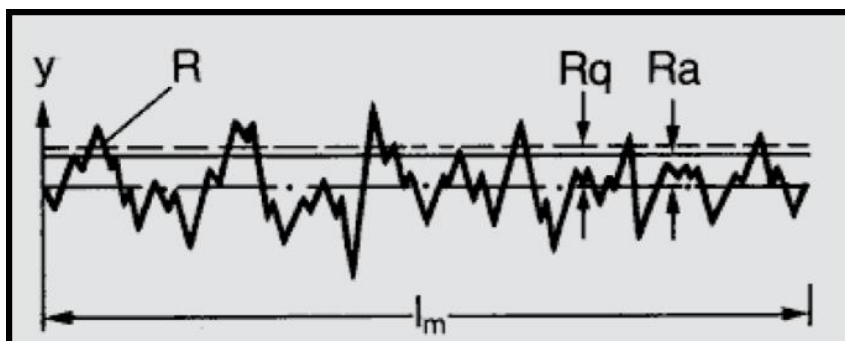
a.1 Ventajas del parámetro Ra en los inyectores CRDI

- Este es un parámetro que se aplica en todos los procesos de fabricación de las toberas de los inyectores CRDI.
- Este parámetro por su gran utilización está representado en forma analógica y digital.
- En las superficies de las toberas de los inyectores CRDI, la distribución es realizada con la curva de Gauss, y esto se puede analizar con el valor de Ra, que ayuda a caracterizar la distribución de amplitud.

b. Rugosidad media cuadrática (Rq)

Para obtener este tipo de rugosidad se saca la raíz cuadrada de la media de los cuadrados de los puntos en el eje y, del perfil efectivo en relación a la línea media. (GTM, 2012)

En la siguiente figura se puede observar el parámetro Rq; el cual es una media geométrica que va desde la línea media hasta el perfil de rugosidad medida en el eje y.

**Figura 39. Medida de Rq**

Fuente: (GTM, 2012)

La rugosidad media cuadrática se puede obtener por medio de dos expresiones, que se muestran a continuación en las ecuaciones 4 y 5:

$$Rq = \sqrt{\frac{1}{L_m} \int_0^{L_m} y^2 dx} \quad \text{Ecuación 4. Rugosidad media cuadrática}$$

$$Rq = \sqrt{\sum_{i=1}^n y^2} \quad \text{Ecuación 5. Rugosidad media cuadrática (2)}$$

Donde:

L=Longitud de medición

Y= Ordenada

n= Número de ordenadas consideradas

b.1 Empleo del parámetro Rq:

- Este parámetro se utiliza para realizar mediciones donde existen surcos bien orientados.
- En superficies donde la rugosidad media aritmética Ra, tiene mínima resolución.

b.2 Ventajas del parámetro de medición Rq en inyectores CRDI

- En la fabricación de inyectores CRDI, se utiliza este parámetro ya que es más exacto que Ra; dándole un aumento del 11% en resolución.
- Para analizar el desgaste de los inyectores CRDI; después de un cierto uso, este parámetro Rq detecta los valles y picos de una manera más exacta que Ra, ya que acentúa el error al elevarlo al cuadrado.

c. Rugosidad Parcial (Zi)

Este parámetro se determina sumando las ordenadas en valor absoluto de los puntos más alejados de la línea media dentro de cada espacio como se representa en la siguiente figura. (GTM, 2012)

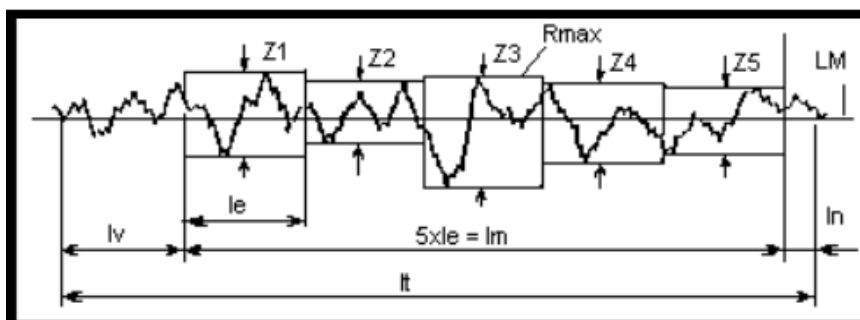


Figura 40. Medida de Zi

Fuente: (GTM, 2012)

La rugosidad parcial de la superficie o Z_i , se la puede obtener matemáticamente, realizando la operación que se presenta en la ecuación 6:

$$Z_i = |Z_1| + |Z_2| + \dots |Z_n| \quad \text{Ecuación 6. Rugosidad parcial}$$

Donde:

Z_1 = Altura 1 de un segmento de pico y valle

Z_2 =Altura 2 de un segmento de pico y valle

Z_n =Altura n de un segmento de pico y valle

c.1 Ventajas de parámetro Z_i en inyectores CRDI

- En la fabricación de los inyectores CRDI, este parámetro ayuda analizar la rugosidad que existe en la superficie del inyector, y complementa al parámetro R_a para un mejor estudio.
- Con este parámetro se puede obtener $R_{máx}$ y R_z
- Cuando se realiza una medición de rugosidad en los inyectores, el rugosímetro detecta este parámetro de una manera exacta. (UCA, 2015)

d. Rugosidad Media (R_z)

Este valor se determina con la media aritmética de los valores de Z_i en cinco módulos que integran la longitud de medición. En la figura siguiente se puede observar el parámetro de rugosidad media R_z . (GTM, 2012)

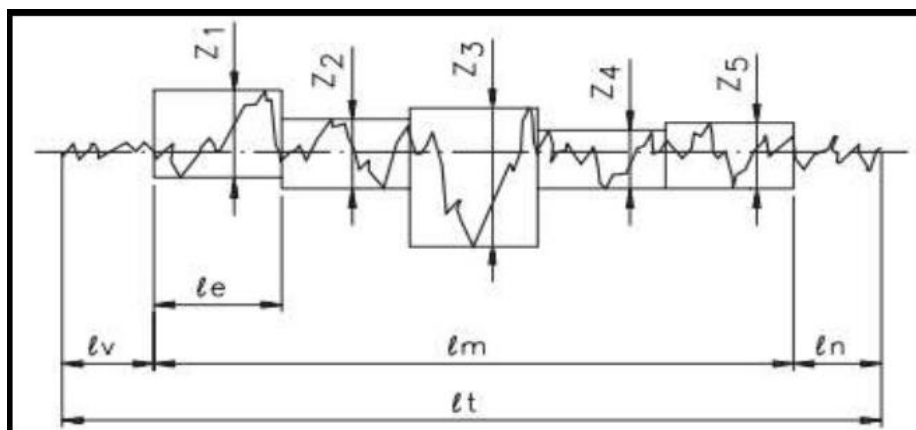


Figura 41. Medida de R_z

Fuente: (GTM, 2012)

En la figura 41 se puede observar los cinco módulos que se necesita para determinar el parámetro de rugosidad R_z ; el cual se determina sacando un promedio de los cinco tramos antes mencionado.

La rugosidad media o el valor de Rz, se la puede calcular también con la ecuación 7, que se muestra a continuación:

$$Rz = \frac{Z1+Z2+Z3+Z4+Z5}{5} \quad \text{Ecuación 7. Rugosidad media}$$

Donde:

Z1: Altura 1 entre pico y valle

Z2: Altura 2 entre pico y valle

Z3: Altura 3 entre pico y valle

Z4: Altura 4 entre pico y valle

Z5: Altura 5 entre pico y valle

d.1 Empleo del parámetro Rz

- Este parámetro puede ser usado en superficies de apoyo de deslizamiento, ajustes prensados entre otros.
- Este parámetro se obtiene cuando se tiene un perfil periódico y conocido. (GTM, 2012)

d.2 Ventajas del parámetro Rz en los inyectores CRDI

- Cuando se analiza la rugosidad en los inyectores CRDI, se puede obtener de una manera fácil el parámetro Rz con un equipo de medición gráfico.
- En los inyectores CRDI, existen perfiles periódicos en los cuales se puede limitar de una manera adecuada la superficie a ser medida. (GTM, 2012)

e. Rugosidad Máxima (R_{máx})

Este parámetro es el mayor de las rugosidades parciales Zi, el cual está ubicado a lo largo de Lm. (GTM, 2012)

En la siguiente figura se observa el parámetro de rugosidad R_{máx}.

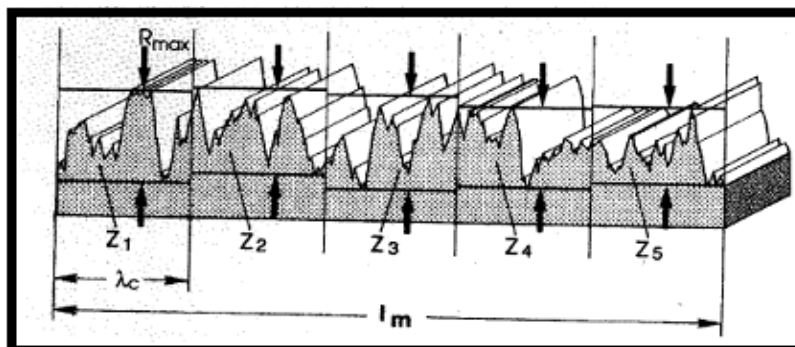


Figura 42. Medida de R_{máx}

Fuente: (GTM, 2012)

e.1 Empleo del parámetro $R_{m\acute{a}x}$

- Se utiliza $R_{m\acute{a}x}$ en superficies dinámicamente cargadas.
- Se utiliza para superficies con inclinación y ondulación.

e.2 Ventajas del parámetro $R_{m\acute{a}x}$ en los inyectores CRDI.

- Cuando los inyectores CRDI sufren de un desgaste prematuro, se puede analizar esto por medio del deterioro máximo que tienen en dirección vertical, con el parámetro de $R_{m\acute{a}x}$.
- Este parámetro de medición utiliza las normas ISO, y DIN.
- Cuando existe desgaste en la superficie de los inyectores CRDI adquieren picos y valles, los cuales pueden ser analizados con el $R_{m\acute{a}x}$.

f. Profundidad total de la rugosidad (R_t)

Es la distancia que existe entre el pico más alto y el valle más profundo con respecto a la línea media. (Mata-Cabrera, 2013)

En la siguiente figura se observa la medición del parámetro R_t .

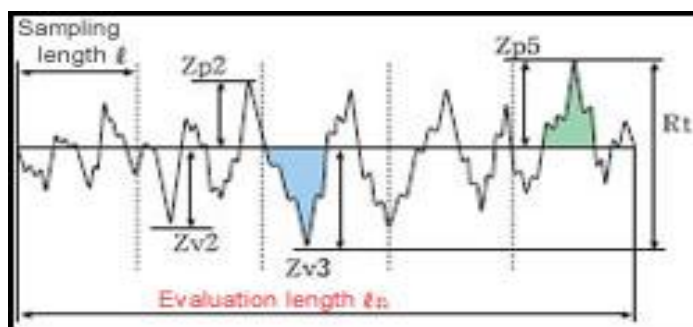


Figura 43. Medida de R_t

Fuente: (GTM, 2012)

La profundidad total de la rugosidad, se lo puede expresar mediante la expresión matemática que a continuación se presenta:

$$R_t = Z_{p5} + Z_{v3} \quad \text{Ecuación 8. Profundidad total de la rugosidad}$$

Donde:

Z_{p5} : Altura de pico más alto

Z_{v3} : Altura de valle más bajo

2.7.2 Sistemas basados en medidas horizontales

a. Paso medio de la rugosidad (S_m)

Esta medida es un promedio del paso entre valles y crestas una a lado de la otra. En la siguiente figura se puede observar la medida S_m . (GTM, 2012)

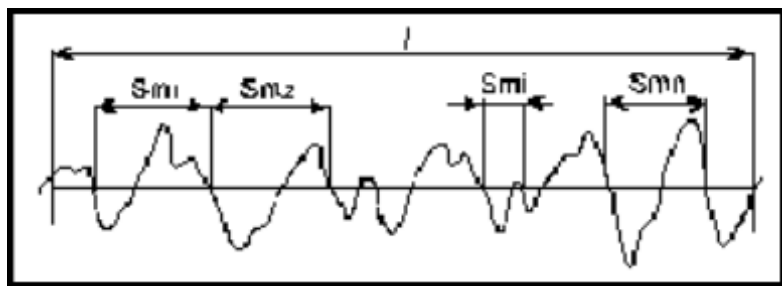


Figura 44. Medida de Sm

Fuente: (GTM, 2012)

El paso medio de la rugosidad se puede determinar con la expresión que se muestra a continuación:

$$\mathbf{S_m} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \mathbf{S_{mi}} \quad \text{Ecuación 9. Paso medio de la rugosidad}$$

Donde:

n= Número de crestas y valles

Smi= Distancia horizontal entre valle y cresta

b. Espacio medio entre crestas vecinas (S)

Esta medida es el promedio entre crestas cercanas. En la siguiente figura se puede observar la medida S. (GTM, 2012)

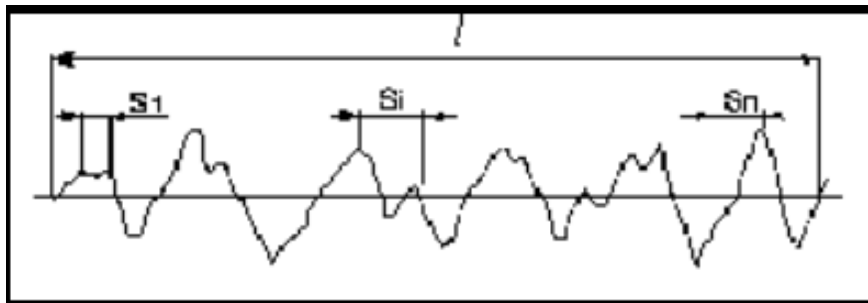


Figura 45. Medida de S

Fuente: (GTM, 2012)

A continuación se presenta la ecuación para calcular el espacio medio entre las crestas vecinas:

$$\mathbf{S_m} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \mathbf{S_i} \quad \text{Ecuación 10. Espacio medio entre crestas vecinas (S)}$$

Donde:

n= Número de crestas cercanas

Si= Distancia entre crestas vecinas

c. Conteo de crestas (P_c)

Es el número de crestas por unidad de longitud. (GTM, 2012) La expresión para determinar el conteo de cresta se muestra a continuación:

$$P_c = \frac{1}{S_m} \quad \text{Ecuación 11. Conteo de crestas}$$

Donde la unidad de longitud puede ser 10 mm o 1".

d. Longitud de contacto a una profundidad (L_c)

Este parámetro se determina sumando los segmentos de una línea paralela a la dirección general del perfil. (Mata-Cabrera, 2013).

En la figura 44, se puede observar la medida del parámetro L_c ; así también en la ecuación 12, se puede ver la expresión con la cual se calcula la longitud de contacto a cierta profundidad:

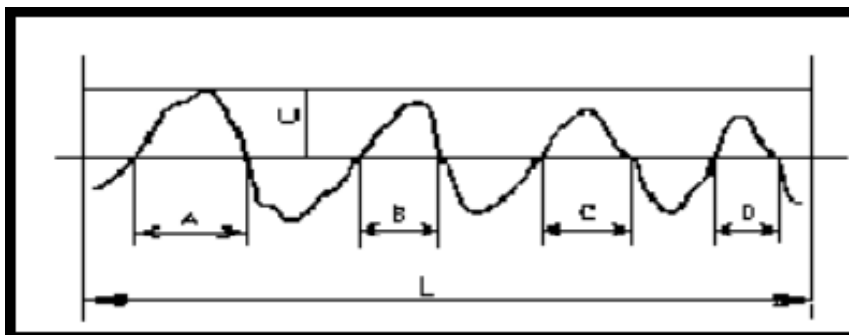


Figura 46. Medida de L_c

Fuente: (GTM, 2012)

$$L_c = A + B + C + D \dots + N \quad \text{Ecuación 12. Longitud de contacto a una profundidad.}$$

Donde:

A, B, C..., N: son el ancho de cada cresta con respecto a la línea media.

2.7.3 Sistemas basados en medidas proporcionales

a. Coeficiente de vaciamiento (K_e)

Esta medida es la relación que existe entre la profundidad media (r_{pm}), y $R_{m\acute{a}x}$. (GTM, 2012)

En la siguiente figura se puede observar las R_{pm} y $R_{m\acute{a}x}$.

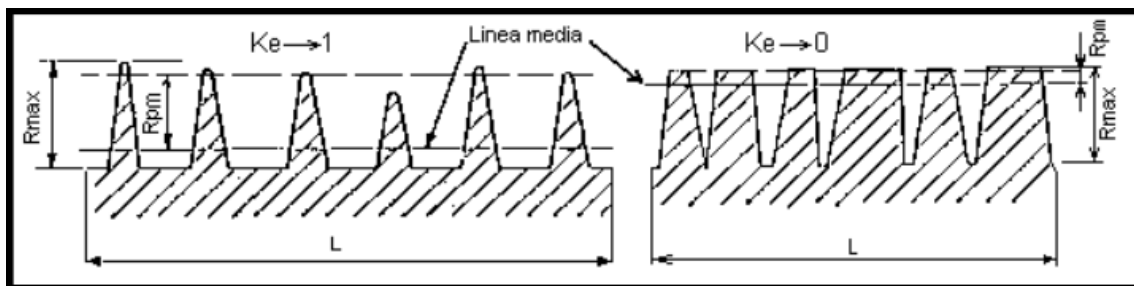


Figura 47. Coeficiente Ke

Fuente: (GTM, 2012)

En la figura 47, se observa que cuando existe un pico, o cuando las Rpm se acercan a Rmáx, Ke tiende a 1; y cuando no existe picos, Ke tiende a cero. En la fabricación de los inyectores CRDI, el coeficiente de Ke tiende a cero dando buenas propiedades funcionales de resistencia al desgaste. (UCA, 2015)

En la ecuación 13 se muestra la expresión matemática para calcular el Ke:

$$K_e = \frac{R_{pm}}{R_{máx}} \quad \text{Ecuación 13. Coeficiente de vaciamiento.}$$

Donde:

Rpm: Profundidad máxima

Rmáx: Mayor de las rugosidades parciales Zi

b. Coeficiente de llenado (Kp)

Esta medida es la diferencia entre la unidad y el coeficiente de vaciamiento. (UCA, 2015). Además en la ecuación 14, se muestra la expresión para poder determinar de manera matemática el coeficiente de llenado.

$$K_p = 1 - K_e \quad \text{Ecuación 14. Coeficiente de llenado.}$$

Donde:

Ke: Coeficiente de vaciamiento

c. Inclinación media del perfil (Δa)

Esta medida es el promedio de las pendientes del perfil integrada en intervalos. (GTM, 2012) En la siguiente expresión se muestra la fórmula para determinar la inclinación media del perfil.

$$\Delta a = \frac{1}{l} \int_0^l \left| \frac{df(x)}{dx} \right| dx = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{\Delta f(x_i)}{\Delta x} \right| \quad \text{Ecuación 15. Inclinación media del perfil}$$

2.8 Indicación de los estados superficiales

Para indicar un estado superficial de algún dibujo en un plano, se tiene cuatro tipos de símbolos:

- Símbolo (a): representado por dos trazos desiguales, los cuales están inclinados a un ángulo de 60° respecto a la superficie donde se ubican. (ingeniería-mecánica, 2014)

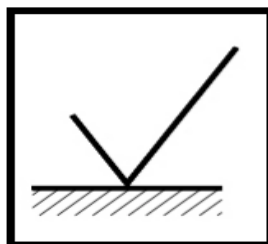


Figura 48. Símbolo (a)

Fuente: (ingeniería-mecánica, 2014)

- Símbolo (b): representa si el mecanizado de una pieza se realizó por arranque de viruta. Por ejemplo: fresado, torneado, cepillado, etc. (ingeniería-mecánica, 2014).

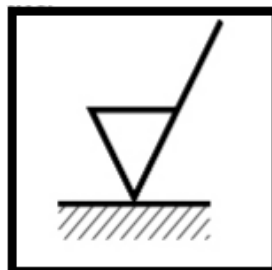


Figura 49. Símbolo (b)

Fuente: (ingeniería-mecánica, 2014)

- Símbolo (c): Este se representa si el mecanizado de la pieza, se realiza en un proceso por conformación; es decir sin arranque de viruta. Por ejemplo: estirado, laminado, forjado, estampado, etc. (ISO, 2013)

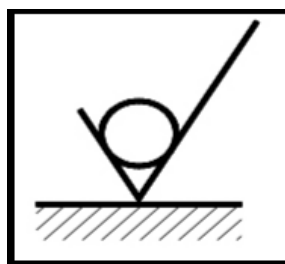


Figura 50. Símbolo (c)

Fuente: (ingeniería-mecánica, 2014)

- Símbolo (d): se representa para poder indicar características especiales del estado superficial. (ISO, 2013)

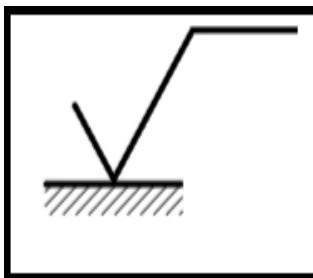


Figura 51. Símbolo (d)

Fuente: (ingeniería-mecánica, 2014)

2.8.1 Simbología

Para representar una pieza mecánica se va tener los siguientes parámetros como se muestra en la siguiente figura 52:

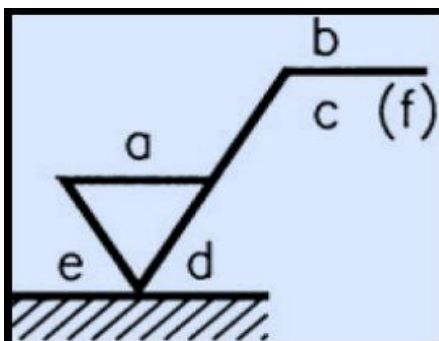


Figura 52. Simbología

Fuente: (ingeniería-mecánica, 2014)

- a) Valor de la rugosidad o índice de la misma especificado en micrómetros (NI-N12).
- b) Indica el proceso de fabricación y el tratamiento o recubrimiento.
- c) Indica la longitud básica
- d) Indica la dirección de las estrías del mecanizado
- e) Indica la sobre medida para el mecanizado.
- f) Indica otro valor de rugosidad y se coloca entre paréntesis.

2.8.2 Indicación de la rugosidad

Los inyectores CRDI, utilizan tratamientos térmicos en su elaboración, para lo cual es necesario indicar que tipo de tratamiento utilizo como se muestra en la figura 53.

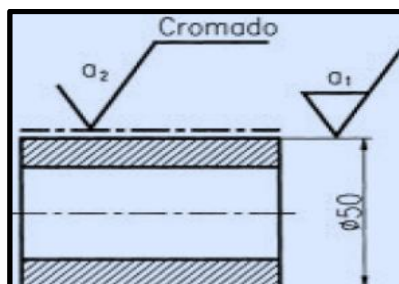


Figura 53. Simbología de superficie con tratamiento térmico

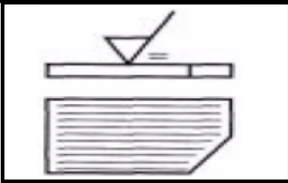
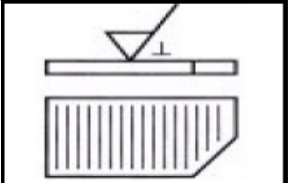
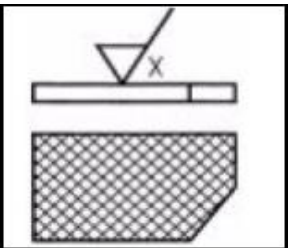
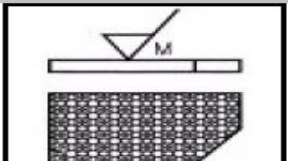
Fuente: (ingeniería-mecánica, 2014)

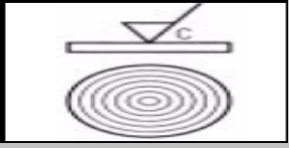
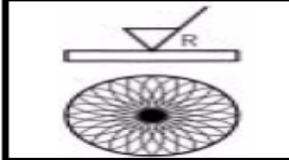
2.8.3 Dirección de las estrías

Al momento de realizar un mecanizado, elaboración o fabricación de alguna pieza mecánica, en este caso los inyectores CRDI; se produce un efecto de huellas; las cuales se deben indicar con su respectivo símbolo, tal como se muestra en la tabla siguiente. (ISO, 2013)

Tabla 9.

Símbolos para dirección de las estrías

Símbolo	Interpretación	Indicación
=	Este símbolo indica huellas paralelas al plano de proyección de la vista.	
⊥	Este símbolo indica huellas perpendiculares al plano de proyección de la vista.	
X	Este símbolo indica huellas que se cruzan en dos direcciones oblicuas respecto al plano de proyección de la vista.	
M	Este símbolo indica huellas multidireccionales.	

C	Este símbolo indica huellas de forma circular.	
R	Este símbolo indica huellas de dirección radial respecto al centro de la superficie.	





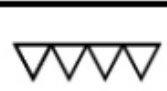

Fuente: (ISO, 2013)

2.8.4 Calidades de Procesos

Cuando se habla de calidades de proceso de rugosidad de una pieza mecánica, en este caso los inyectores CRDI; estas se pueden representar según la norma DIN 140 como una sucesión de triángulos invertidos. A continuación, se muestra una tabla según las normas DIN 140. (Schneider, 2008)

Tabla 10.

Calidades de procesos

Rugosidad (um)	Clase de rugosidad	Equivalencia DIN 140	Aplicaciones
50-25	N11-N12		Se utiliza para fundición, forja, estampación.
12,5-6,3	N9-N10		Se utiliza para trabajos de desbaste, arranque de viruta.
3,2-1,6	N7-N8		Para torneado fino, escariado, rectificado, brochado.
0,8-0,4	N5-N6		Para escariado, rectificado, esmerilado.
0,2-0,1	N3-N4		Para rectificado fino y bruñido.
0,05-0,025	N1-N2		Para lapeado.

Fuente: (ISO, 2013)

2.8.5 Indicaciones de los símbolos

Los símbolos se colocan sobre las superficies a las que se refiere, y además se puede colocar sobre una flecha directriz a la superficie a especificar. Como se muestra en la figura 54. (Schneider, 2008)

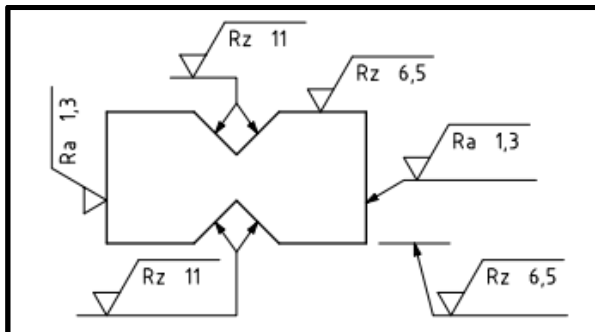


Figura 54. Indicaciones de los dibujos

Fuente: (ISO, 2013)

2.9 Métodos para medir la rugosidad

Para medir rugosidad en partes mecánicas se necesita de métodos específicos; a continuación, se da a conocer lo mencionado anteriormente:

- Métodos cualitativos o visotáctiles
 - a) Observación táctil
 - b) Observación visual sin óptica
 - c) Observación visual con óptica
- Método cuantitativo
 - a) Rugosímetro de palpador mecánico
 - b) Rugosímetro de palpador inductivo
 - c) Rugosímetro de palpador capacitivo
 - d) Rugosímetro de palpador piezoeléctrico
 - e) Rugosímetro patín mecánico

(Moreno, 2015)

2.9.1 Métodos cualitativos o visotáctiles

Este método permite obtener resultados subjetivos mediante el tacto y la observación de la superficie de elementos mecánicos. (Moreno, 2015)

a. Observación táctil

Este trata de deslizar el dedo sobre la superficie de la pieza mecánica, y comparar el tacto que se aprecia; para esto se sigue unos parámetros de rugosidad que se observa en la siguiente figura. (Moreno, 2015)

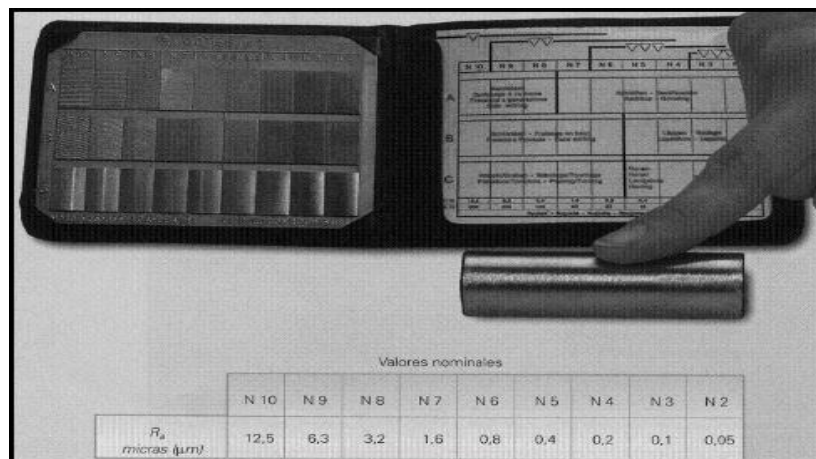


Figura 55. Patrones de rugosidad

Fuente: (Moreno, 2015)

b. Observación visual sin óptica

- Por la distorsión del brillo que refleja la superficie de la pieza
- Por la observación de la rendija que sobra entre la superficie de la pieza y una regla de verificación que está ubicada sobre ella.
- Con un papel milimetrado, el cual se coloca sobre la superficie, y una muestra de rugosidad conocida, lo que nos permite obtener diferencias entre ambas piezas. Como se observa en la figura 56. (Moreno, 2015)

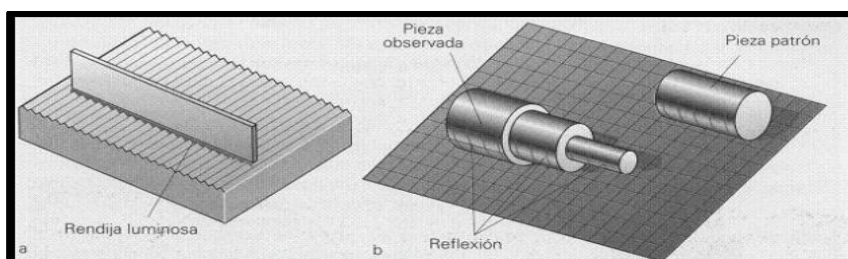


Figura 56. Observación visual sin óptica

Fuente: (Moreno, 2015)

c. Observación visual con óptica

Para este tipo de método se utiliza herramientas como microscopios, lupas, proyectores de perfiles, etc.; estos nos ayudan a amplificar la imagen por reflexión o interferencias luminosas. Tal como se mira en la figura 57. (Moreno, 2015)



Figura 57. Observación visual con óptica

Fuente: (Moreno, 2015)

2.9.2 Método cuantitativo

a. Rugosímetro de palpador mecánico

Este aparato está compuesto por un palpador, mecanismo de soporte y de arrastre, un amplificador electrónico, y un registrador. Como se muestra en la figura 58. (Moreno, 2015)

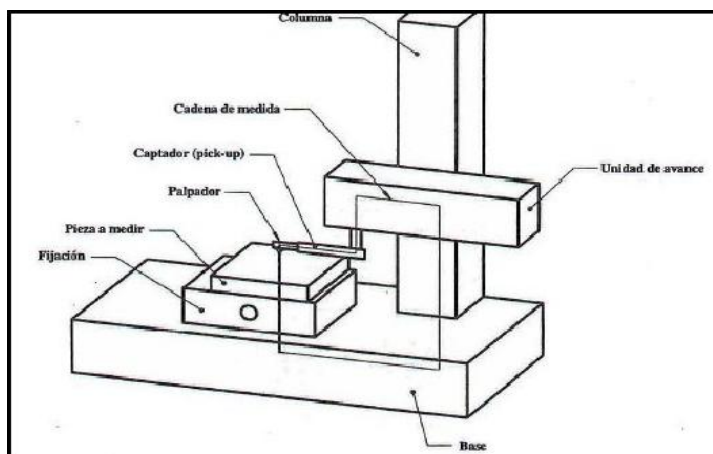


Figura 58. Rugosímetro de palpador mecánico

Fuente: (Moreno, 2015)

b. Rugosímetro de palpador inductivo

Este aparato trabaja con una aguja que describe las ondulaciones del perfil, y modifica la longitud del entrehierro del circuito magnético, como se observa en la figura 59, y con ello el flujo del campo magnético genera una señal eléctrica. (Moreno, 2015)

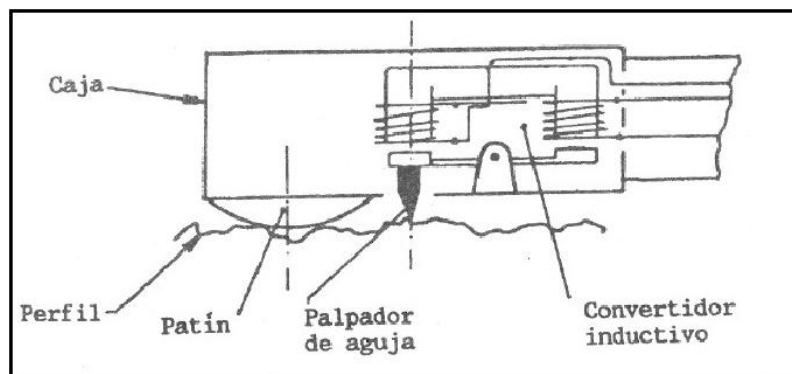


Figura 59. Rugosímetro de palpador inductivo

Fuente: (Moreno, 2015)

c. Rugosímetro de palpador capacitivo

Este aparato trabaja con un desplazamiento vertical, el cual tiene un palpador que aproxima dos láminas de un condensador, modificando así su capacidad y su señal eléctrica. Como se indica en la figura 60. (Moreno, 2015)

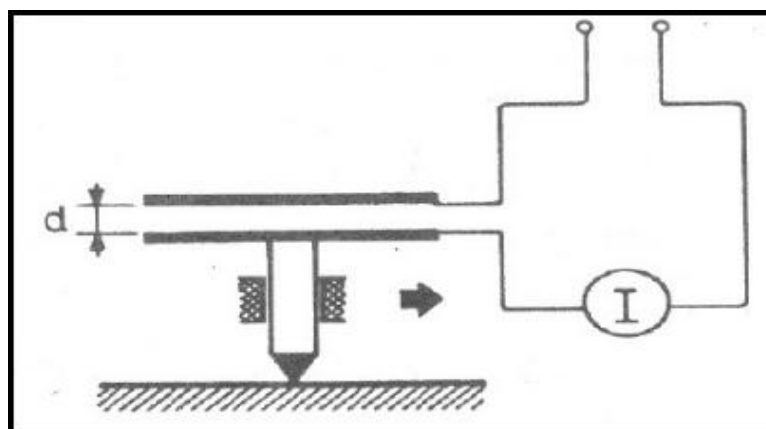


Figura 60. Rugosímetro de palpador capacitivo

Fuente: (Moreno, 2015)

d. Rugosímetro de palpador piezoeléctrico

La aguja del palpador que tiene este aparato, deforma elásticamente un material piezoeléctrico, generando una señal eléctrica. Como se muestra en la siguiente imagen. (Moreno, 2015)

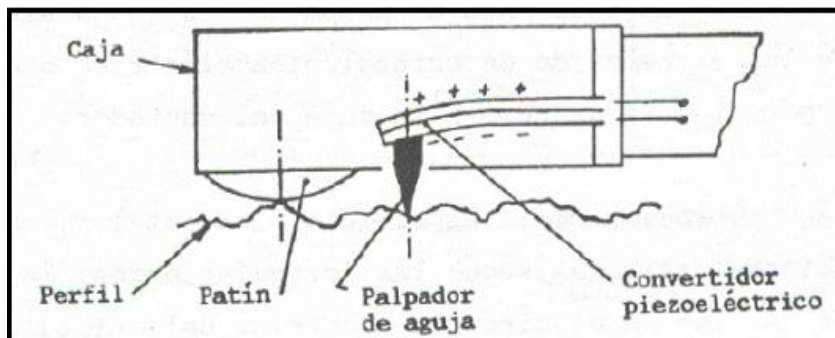


Figura 61. Rugosímetro de palpador piezoeléctrico

Fuente: (Moreno, 2015)

e. Rugosímetro patín mecánico

Este aparato tiene un patín con filtro mecánico, como se mira en la figura 62, el cual describe ondulaciones de la superficie, mientras la aguja recorre los picos y valles del perfil de la pieza. (Moreno, 2015)



Figura 62. Rugosímetro de patín mecánico

Fuente: (Moreno, 2015)

CAPÍTULO III

“PRUEBAS EXPERIMENTALES”

3.1 Preparación del rugosímetro SHIMANA SHSBLST241

3.1.1 Elementos

Las partes que conforman el rugosímetro se encuentran dentro de un maletín, el cual al abrirlo se los puede observar acomodados y amoldados por medio de una esponja. Como se puede ver en la figura 63. Está conformado por:

- a. Rugosímetro modelo SHIMANA SHSBLST241.
- b. Base de vidrio.
- c. Elemento de prueba (base polímero plástico)
- d. Flash USB
- e. Sensor palpador
- f. Elementos de sujeción del pedestal
- g. Cargador (Entrada 120 V, 0,2 A – Salida 5 V, 1 A)
- h. Cable USB de comunicación rugosímetro – computador
- i. Manual de instrucciones.

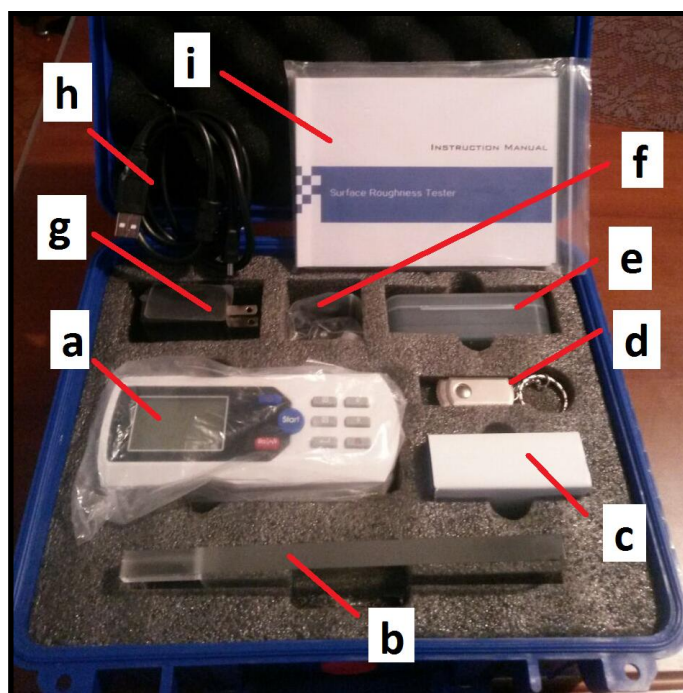


Figura 63. Partes del kit rugosímetro

3.1.2 Instalación del Software PresurfEnterprise

El programa PresurfEnterprise es compatible con el rugosímetro con el cual se realizó las mediciones de rugosidad en las agujas de las toberas de los inyectores.

Este software viene incorporado en el flash USB, dentro del kit del rugosímetro presentado anteriormente. Para la instalación, se debe realizar el siguiente proceso.

- Insertar la memoria flash USB en el computador.
- Al ingresar por medio del Explorador de Windows, ingresar a la carpeta según el sistema operativo en el cual se quiera instalar el programa (64X o 32X)
- Ejecutar el programa de instalación (PresurfEnterprise_en.EXE) como se puede ver en la figura 64.



Figura 64. Ejecución del instalador

- En la pantalla de bienvenida y dar clic en “Siguiente”. Que se puede observar en la figura 65.

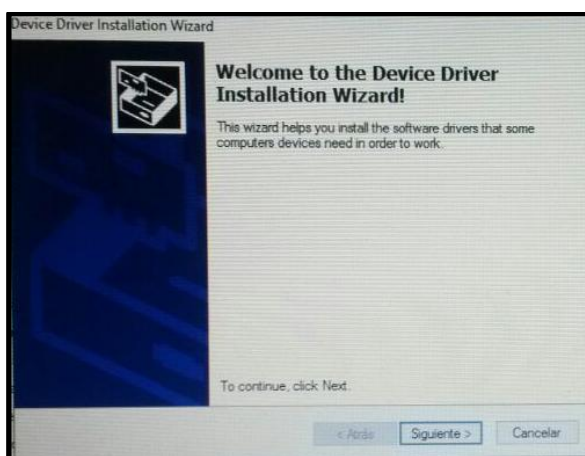


Figura 65. Pantalla de bienvenida a la instalación

- Se empezará a instalar los drivers necesarios antes de iniciar la instalación del programa, como se ve en la figura 66.

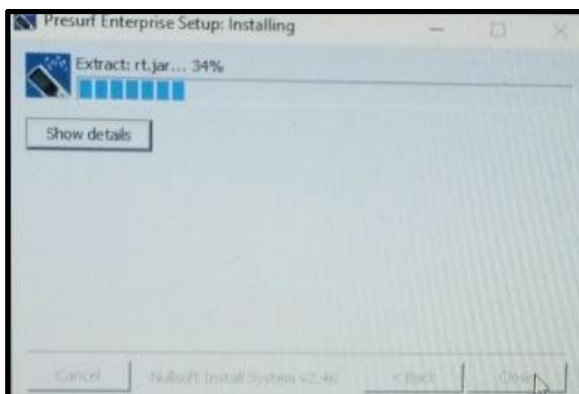


Figura 66. Instalación de los driver.

- Acto seguido se empezará a instalar el software, y nos pedirá que lugar del disco se quiere la instalación. Y dar clic en “Install”. Como se ilustra en la figura 67.

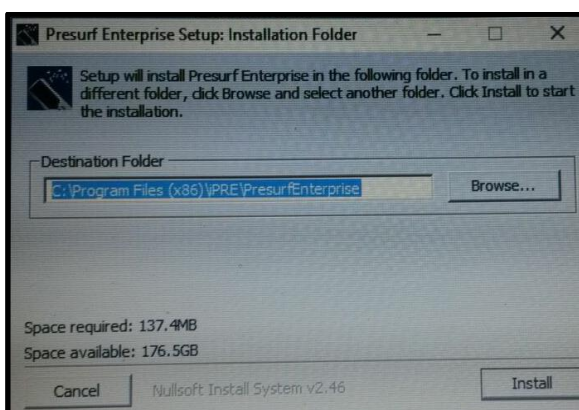


Figura 67. Elección del sitio a instalar

- Una vez que se instala, nos aparece una pantalla que la aplicación está apta para el uso, igual a la que se ve en la figura 68.



Figura 68. Finalización de la instalación

- Una vez instalado el programa, se lo puede ejecutar desde el acceso directo creado en el Escritorio. Y se genera la pantalla principal del programa PresurfEnterprise como se puede ver en la figura 69.

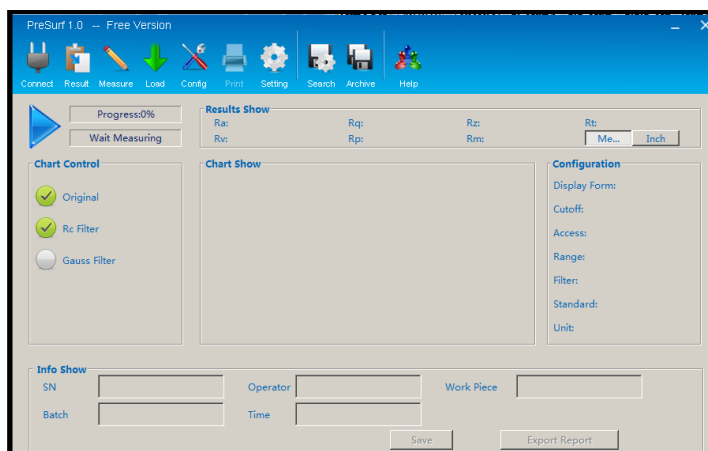


Figura 69. Pantalla del Software

3.1.3 Preparación del rugosímetro antes de las mediciones

Para realizar las mediciones se tienen que ensamblar algunos componentes del kit, para ello se debe seguir cumplir con los siguientes pasos:

- Preparar el pedestal, ubicando la base de vidrio del rugosímetro sobre este, como se muestra en la figura 70.

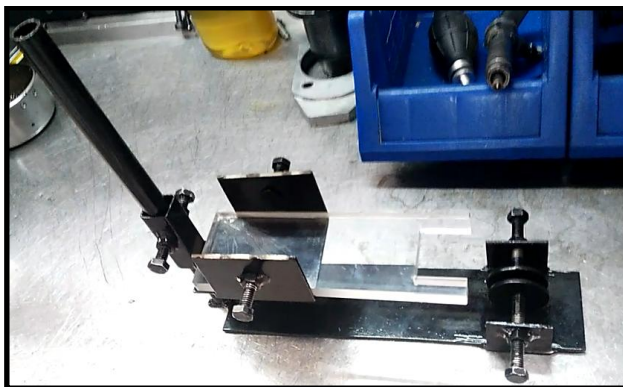


Figura 70. Pedestal del rugosímetro con su base de vidrio

- Conectar el sensor palpador en la parte inferior del rugosímetro, verificando en todo momento que los conectores del sensor coincidan los del aparato, como se observa en la figura 71.

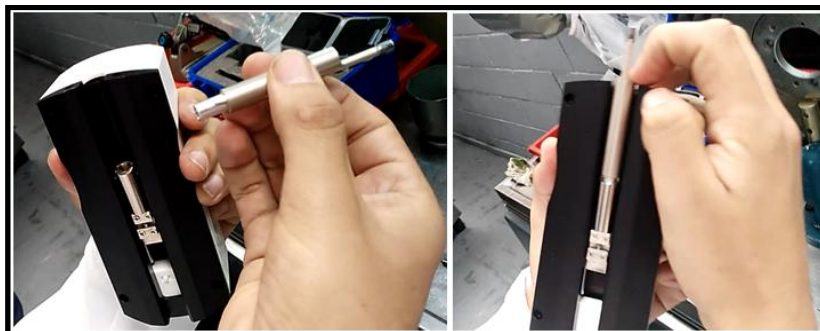


Figura 71. Conexión del sensor palpador

- Montar el rugosímetro sobre el pedestal, verificando que se encuentre bien sujeto y no presente ningún tipo de juego, como se observa en la figura 72.



Figura 72. Ubicación del rugosímetro en el pedestal

- Ubicar en “ON”, el selector que está debajo del rugosímetro con el fin de encender el paso de energía desde la batería, como se observa en la figura 73.



Figura 73. Selector de encendido de la batería

- Encender el rugosímetro, accionando el botón de encendido (color azul) ubicado en el panel principal, como se ilustra en la figura 74.

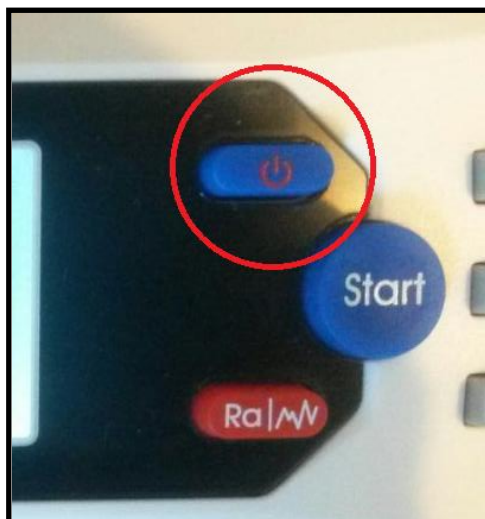


Figura 74. Botón de encendido (Start)

- Conectar el cable USB entre el aparato de medición y el computador, para tener una comunicación con el software PresurfEnterprise. Tal como se indica en la figura 75.



Figura 75. Conexión del cable USB al computador

- Desde el computador abrir el programa PresurfEnterprise, y dar click en “Conect” para comenzar la comunicación entre computador – rugosímetro. Como se indica en la figura 76.

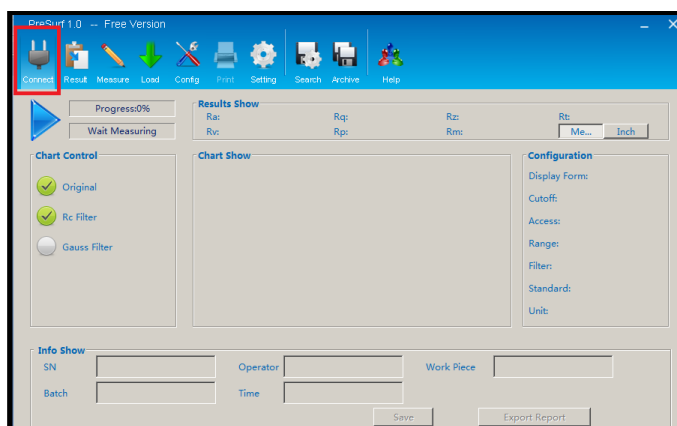


Figura 76. Conexión del cable USB al computador

- Antes de realizar las mediciones, es importante encender el rugosímetro, para evitar tener medidas erróneas. Para ello se sigue los siguientes pasos:
 - a. Con la pantalla de inicio, presionar el botón “Ingreso” para observar las funciones del rugosímetro como se muestra en la figura 77:



Figura 77. Tecla “Ingreso” para las funciones

- b. Con las teclas de navegación se busca la opción “Function Setup”, como se muestra en la figura 78:



Figura 78. Opción “Function Setup”

- c. Se oprime la tecla “Enter”, para ingresar a esa opción. Y con las teclas de navegación se busca la sub-opción “Erase all data”, y se vuelve a presionar “Enter”; como se muestra en la figura 79.



Figura 79. Encerado del rugosímetro

- d. Se confirma que se enceró el aparato por medio de un mensaje “All date erased!”, una vez realizado eso, se presiona tres veces el botón de salida hasta llegar a la pantalla principal, y verificar que marca $0.000\mu\text{m}$. Tal cual se indica en la figura 80.



Figura 80. Rugosímetro listo para la medición

3.2 Especificaciones de los inyectores CRDI (Bosch, Denso y Delphi)

3.2.1 Inyector marca Bosch (Mazda Bt-50 2.5)

Este inyector marca Bosch pertenece a una Mazda Bt-50, con un sistema de inyección CRDI, además tiene un motor de 4 cilindros de 2.5 cc, con una potencia máxima de 105 KW. (“Un inyector CRDI marca Bosch se debe realizar un mantenimiento cada 60.000 Km o 48 meses; caso contrario la vida útil del inyector será de 120.000 Km o 96 meses según estipula el fabricante”)

Estos inyectores trabajan con presiones máximas de 1350 bares; las piezas mecánicas con los que son fabricadas tienen tolerancias de 0.002 mm, una medida mínima que garantiza el menor desgaste, funcionamiento más suave y una mayor vida útil; el volumen de inyección varía entre 1 y 350 mm^3 , ese volumen es

inyectado a 2000 km/h a través de un orificio de $0,25 \text{ mm}^2$, la inyección ocurre entre 1 a 2 milisegundos. La aguja de la tobera fue usada del inyector que se muestra en la figura 81.



Figura 81. Inyector Bosch

3.2.2 Inyector marca Delphi (Hyundai Terracan 2.9)

Este inyector marca Delphi pertenece a un Hyundai Terracan con un sistema de inyección CRDI, además tiene un motor de 4 cilindros de 2.9 cc, con una potencia máxima de 163 HP. (“Un inyector CRDI marca Delphi se debe realizar un mantenimiento cada 70.000 Km o 46 meses; caso contrario la vida útil del inyector será de 118.000 Km o 90 meses según estipula el fabricante”)

Estos inyectores Delphi trabajan con presiones que van desde 200 a 1600 bares, estos son de tipo electromagnéticos con un diámetro de 17 mm; tienen una baja resistencia que aproxima los 0,2 ohm logrando su activación de una manera rápida y eficaz; además son activados con una tensión de 12V, y para su apertura necesitan una corriente entre 6 a 12 Amperios. La aguja de la tobera que se midió la rugosidad pertenece al inyector que se muestra en la figura 82.



Figura 82. Inyector Delphi

3.2.3 Inyector marca Denso de un Toyota Hilux 3.0

Este inyector marca Denso pertenece a un Toyota Hilux con un sistema de inyección CRDI, además tiene un motor de 4 cilindros en línea de 3.0 cc, con una potencia máxima de 171 HP. (“Un inyector CRDI marca Denso se debe realizar un mantenimiento cada 60.000 Km o 48 meses; caso contrario la vida útil del inyector será de 110.000 Km o 95 meses según estipula el fabricante”)

Estos inyectores trabajan con presiones máximas hasta de 1800 bares; su valor de resistencia varía entre 0.8 a 1 Ω , funcionan con un valor de tensión de 5V, para su apertura necesitan una corriente de 12 A, y para su mantenimiento una corriente de 20 A. El inyector usado para las pruebas de rugosidad se muestra en la figura 83.



Figura 83. Inyector Denso

3.3 Despiece del conjunto tobera de los inyectores CRDI

3.3.1 Inyector Bosch

Para determinar los parámetros de rugosidad en la aguja del conjunto de la tobera en inyector CRDI (cono y vástago) de marca Bosch, primeramente, se realiza el desarmado, conociendo las partes que lo conforma. Para ello se sigue los siguientes pasos:

- En la prensa, se sostiene al inyector, con la tobera en la parte superior como se indica en la figura 84:

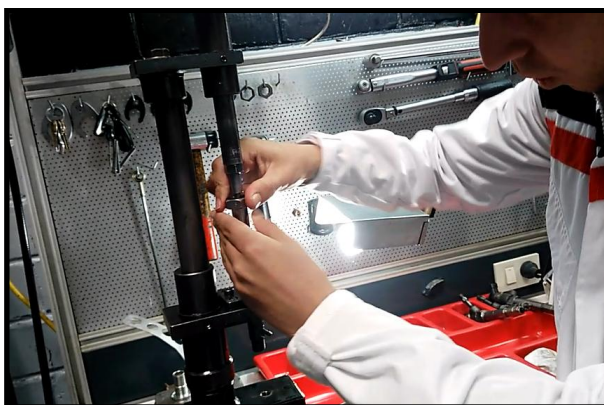


Figura 84. Desarme de la tobera (Bosch)

- Aflojar la porta tobera con la llave de corona #14, como se muestra en la figura 85.



Figura 85. Herramienta para aflojar la tobera (Bosch)

- Extraer la porta tobera manualmente, hay que tomar en cuenta que no se vaya a caer ninguna pieza del inyector, como se indica en la figura 86.



Figura 86. Extracción de la tobera (Bosch)

- Desajustar el tornillo de la prensa para sacar el inyector Bosch, como indica la figura 87.



Figura 87. Desarme del conjunto de la tobera

- Ubicar el inyector desarmado en la mesa de trabajo, donde se realizará el despiece, verificando sus elementos, como se indica en la figura 88.

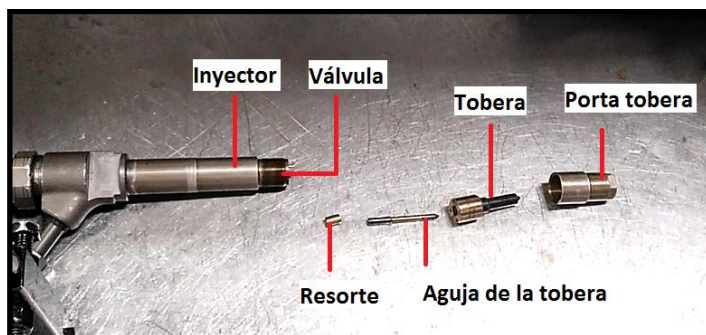


Figura 88. Despiece del conjunto tobera (Bosch)

- Extraer la aguja de la tobera y ubicarla en la prensa del pedestal del rugosímetro, como se indica en la figura 89.



Figura 89. Aguja de la tobera (Bosch)

.3.2 Inyector Denso

A este inyector, al igual que el anterior, se le sigue el mismo procedimiento para el desarmado del conjunto tobera, para de igual manera extraer la aguja que será el objeto a determinar la rugosidad o desgaste. Para ello se toma en cuenta los siguientes pasos:

- Ubicar al inyector Denso en la prensa, asegurando bien el tornillo de ajuste, para evitar que se resbale el inyector. Con el conjunto tobera en la parte superior, como indica la figura 90.



Figura 90. Ubicación del inyector (Denso) en la prensa

- Con la llave #15, desajustar la porta tobera, como se ilustra en la figura 91.



Figura 91. Uso de la herramienta para aflojar la tobera

- Manualmente sacar la porta tobera girando en sentido anti-horario, como se muestra en la figura 92.



Figura 92. Extracción del conjunto tobera del inyector Denso

- Sacar el inyector de la prensa y llevarlo a la mesa de trabajo para realizar el despiece del conjunto tobera, verificando cada una de sus partes, como se indica en la figura 93.

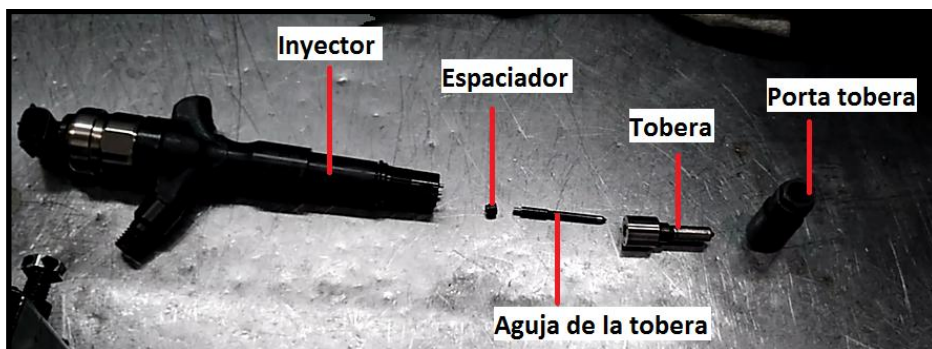


Figura 93. Extracción del conjunto tobera del inyector Denso

- Extraer la aguja de inyección, para realizar en ella las pruebas de desgaste, como se indica en la figura 94.



Figura 94. Despiece del conjunto tobera (Denso)

3.3.3 Inyector Delphi

Antes de realizar las mediciones de rugosidad sobre la aguja del conjunto de la tobera del inyector CRDI (cono y vástago) de marca Delphi, se debe realizar el desarmado del mismo, realizando un despiece y conociendo sus partes, como se indica en el siguiente procedimiento:

- Con la ayuda de la prensa, se sujeta el inyector, con la tobera en la parte superior como se indica en la figura 95.



Figura 95. Fijación del inyector DELPHI a la prensa

- Aflojar la porta tobera con la llave de corona #14, como se ilustra en la figura 96.



Figura 96. Uso de la herramienta para aflojar la tobera

- Girar la porta tobera en sentido horario con la mano, para extraerla, verificando en todo momento que no se vaya a caer ninguna pieza del inyector, como se puede observar en la figura 97.



Figura 97. Aflojamiento de la porta tobera

- Aflojar el tornillo de la prensa para extraer el inyector Delphi.

- Llevar el inyector desarmado hacia la mesa de trabajo, en el cual se realiza el despiece, verificando las partes de cada una, como se muestra en la figura 98.

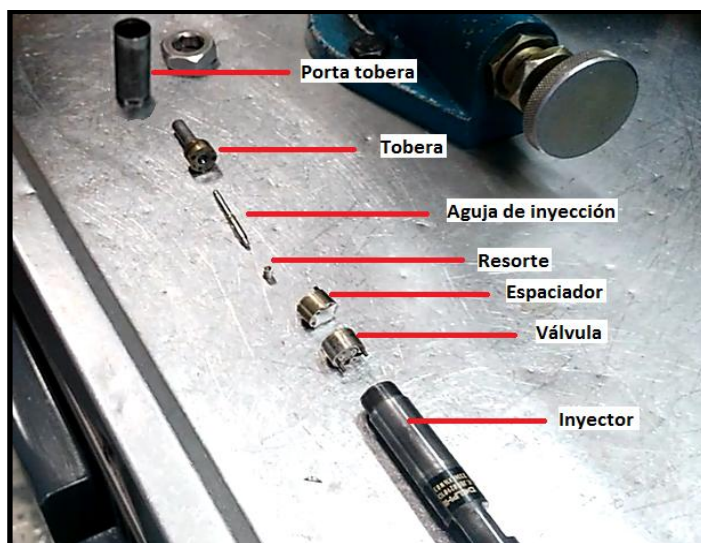


Figura 98. Despiece del conjunto tobera (Delphi)

- Extraer la aguja de inyección para llevarla hacia el rugosímetro, como se puede observar en la figura 99.

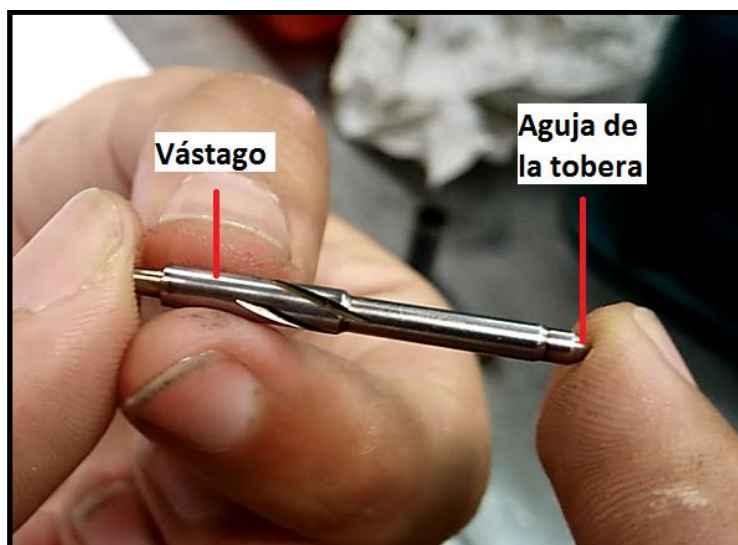


Figura 99. Partes que generan desgaste en la aguja de la tobera

3.4 Mediciones de rugosidad a iguales condiciones iniciales de las agujas de las toberas en inyectores CRDI con el rugosímetro.

3.4.1 Aguja de la tobera Bosch

a. Cono de la aguja

Para la medición de la rugosidad de la aguja en la tobera nueva, se empleará el inyector Bosch CRDI de una camioneta Mazda BT-50 2.5, en la cual no fue

necesario hacer el despiece, sino simplemente extraer la aguja de la tobera y llevarla a la prensa del pedestal del rugosímetro, como se indica en la figura 100.



Figura 100. Tobera nueva de marca Bosch

Se realiza los siguientes pasos para poder realizar las mediciones en el rugosímetro, de la nueva aguja de la tobera.

- Cumplir con los parámetros que se piden en los puntos 3.1.2 y 3.1.3, en relación a la instalación del software y preparación del rugosímetro respectivamente.
- Colocarse guantes quirúrgicos, para evitar ensuciar la aguja de la tobera y evitar malas mediciones. Tener siempre a mano un trapo (que no produzca pelusa) para limpiar la superficie tanto del sensor palpador del rugosímetro, como de la aguja a medir.
- La primera medición se la realizará en el cono de la aguja, parte que siempre está expuesta a la presión y alta temperatura que se genera en el momento de la inyección. Se colocará la aguja en la prensa del pedestal, haciendo coincidir con el sensor palpador del rugosímetro (que estén en contacto). Como se muestra en la figura 101.

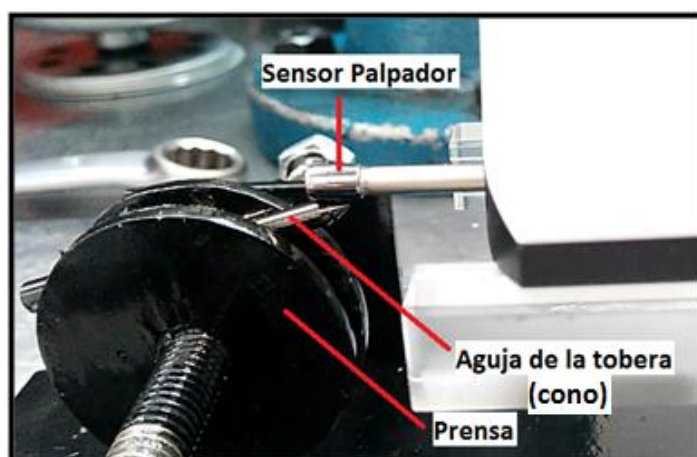


Figura 101. Ubicación de la aguja de la tobera (Bosch)

- Desde el computador con el software ya abierto, dar clic en “start”, desde ese momento automáticamente se empieza a mover el palpador para empezar a registrar los datos de rugosidad en la aguja, como se indica en la figura 102.

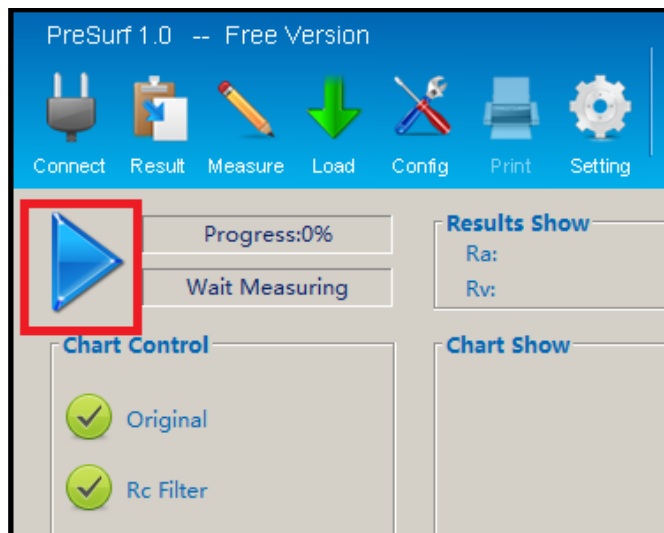


Figura 102. Botón “Start” para empezar a registrar datos de rugosidad

- El valor de rugosidad (Ra) se lo puede observar en la pantalla principal del display del rugosímetro, como se muestra a continuación, en la figura 103.



Figura 103. Valor de “Ra” en la pantalla principal

- Para visualizar los valores de los demás parámetros de rugosidad, se los puede observar oprimiendo el botón rojo (Ra); de igual forma estos valores se los visualiza en la pantalla del computador en el software, tal cual se indica en la figura 104.



Figura 104. Valores de los parámetros en software y rugosímetro (cono)

- Para conocer la gráfica del desgaste, se presiona nuevamente el botón Ra; al igual que el anterior caso, se puede observar la gráfica también en el computador. Con la tecla “enter” se puede obtener el zoom y con las teclas de “dirección” se puede observar el segmento de la gráfica. Como se observa en la figura 105.

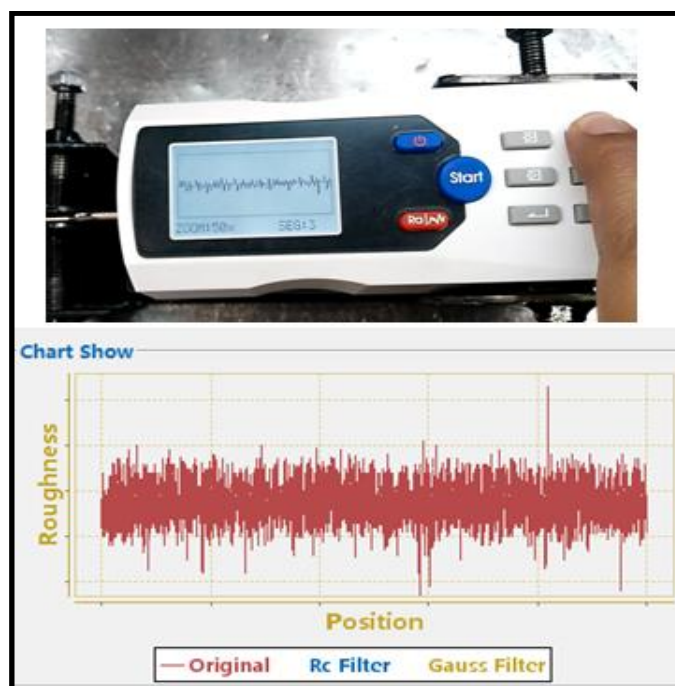


Figura 105. Gráfica en software y rugosímetro

b. Vástago de la aguja de la tobera

De igual manera que el trabajo que se realizó con el cono de la aguja, se lo realizará con el vástago. Para este caso, sin excepción, se tiene que cumplir con los

pasos anteriormente propuestos con relación al software PresurfEnterprise y las preparaciones preliminares que se hacen en el rugosímetro.

Esta vez lo que se hará es colocar al vástago en la prensa del pedestal, y hacerlo coincidir con el sensor palpador, verificando que, en todo el trayecto del sensor, estén rozando ambas superficies, como se muestra en la figura 106.

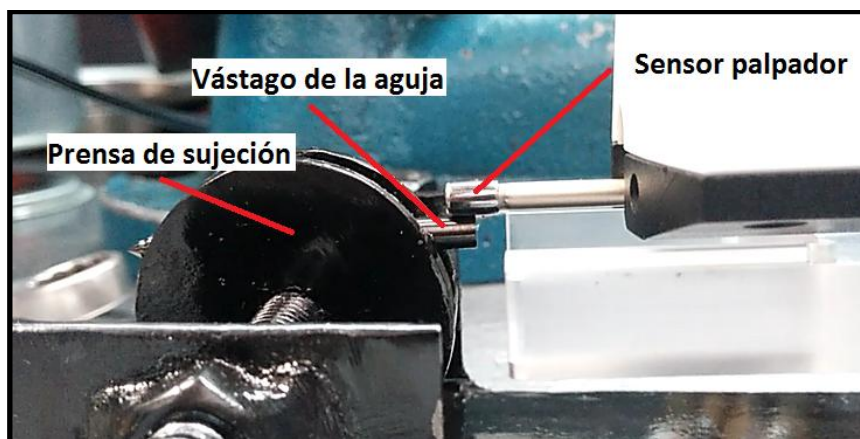


Figura 106. Posicionamiento del vástago de la aguja

- De igual forma, los datos se pueden visualizar tanto en la pantalla principal del rugosímetro, presionando la tecla roja “Ra”, como en la del software del computador. Como se observa en la figura 107.



Figura 107. Valores de los parámetros en software y rugosímetro (vástago)

- También para este caso se puede observar la gráfica que presenta el rugosímetro presionando la tecla de “Ra”, nuevamente, además se pueden visualizar la gráfica en el software PresurfEnterprise. Como se indica en la figura 108.

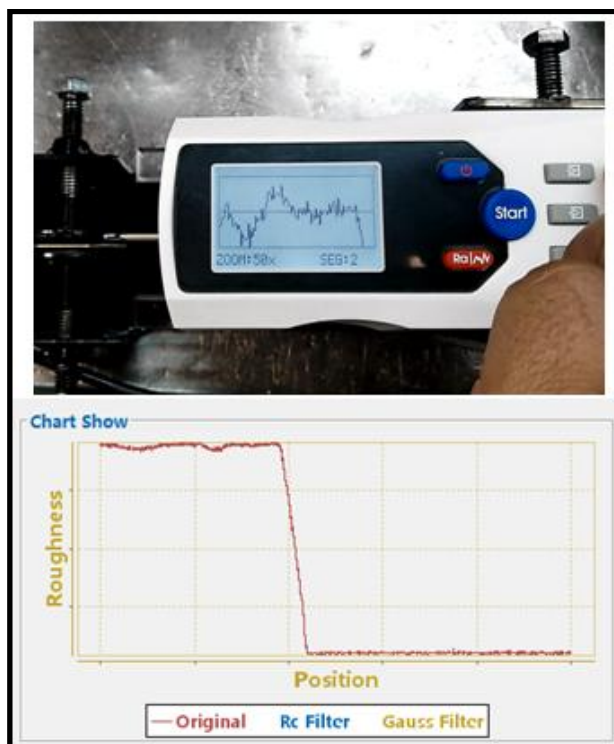


Figura 108. Gráficas de desgaste en software y rugosímetro (vástago)

3.4.2 Aguja de la tobera Denso

a. Cono de la aguja

Antes de la medición de la rugosidad en la tobera nueva del inyector CRDI Denso del vehículo Toyota Hilux 3.0, como se muestra en la figura 109; al igual que en los pasos anteriores se debe de tener en cuenta que el software PresurfEnterprise y el rugosímetro ya deben cumplir con los parámetros iniciales propuestos en los puntos 3.1.2 y 3.1.3. Una vez que se cumpla con lo mencionado se sigue los siguientes pasos:

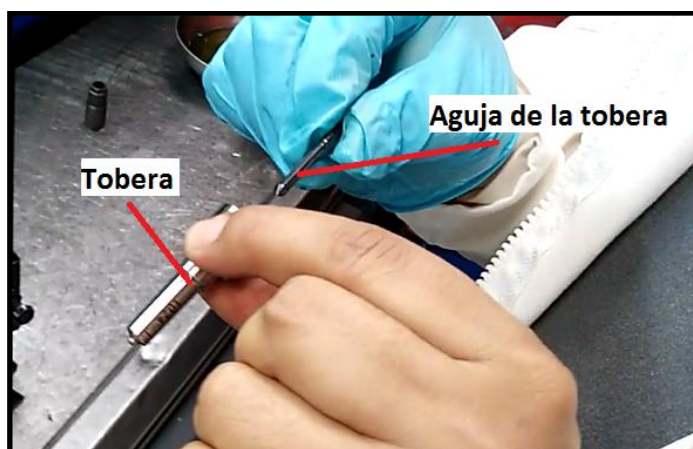


Figura 109. Tobera nueva (Denso)

- Ubicar la aguja nueva en la prensa del rugosímetro, con el cono de la misma hacia el sentido donde está el sensor, como se muestra en la figura 110.

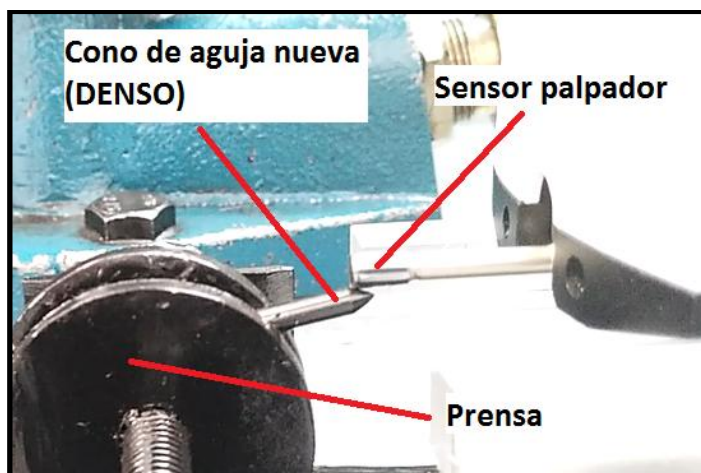


Figura 110. Sujeción de la aguja de la tobera nueva (Denso)

- Verificar que el sensor palpador y la superficie a determinar estén en contacto en todo momento de la medición.
- Desde el software, dar clic en el botón de “Start”; automáticamente se empieza a mover el sensor y arrojar los primeros datos de medición, como se muestra en la figura 111.

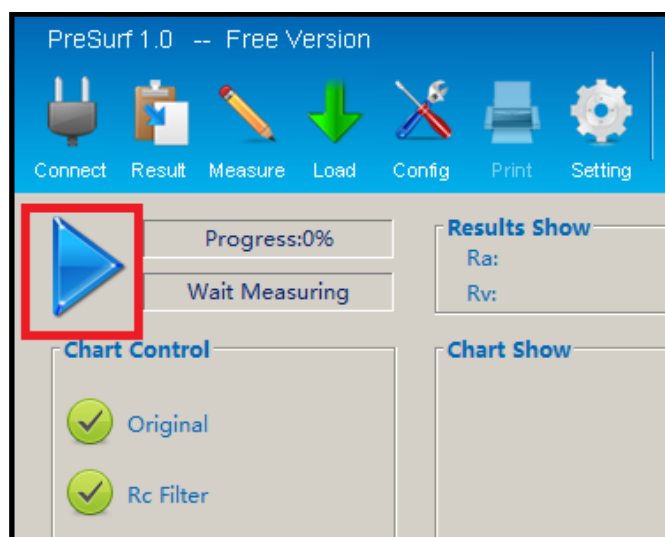


Figura 111. Botón “Start” para inicio de mediciones

- Los datos de los parámetros se los puede visualizar en el display principal del rugosímetro y en la pantalla del programa del computador. Como se indica en la figura 112.



Figura 112. Valores de parámetros en rugosímetro y software (cono)

- Se puede observar la gráfica del desgaste tanto en la interface del rugosímetro, y además en el computador. Como se indica en la figura 113.

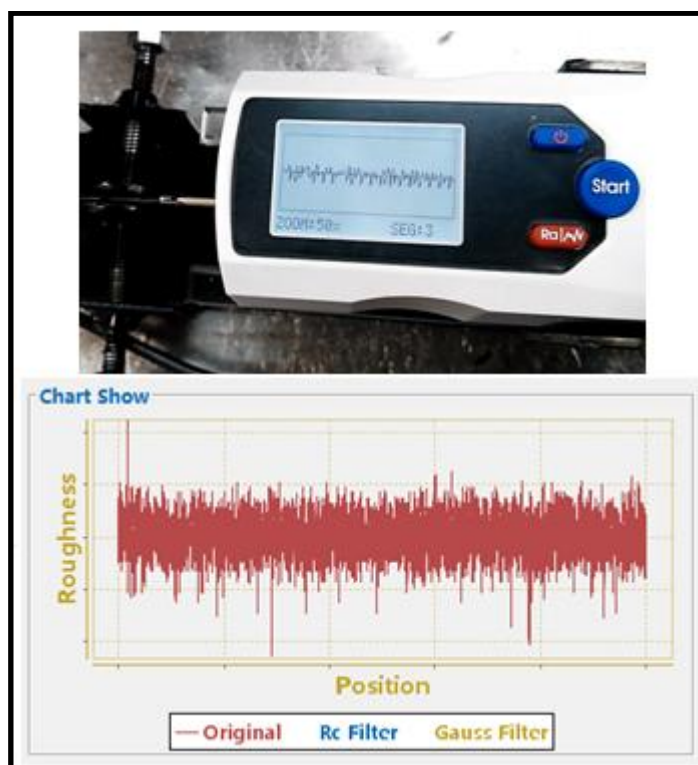


Figura 113. Gráficas de rugosidad en rugosímetro y software (cono)

b. Vástago de la aguja de la tobera

Para este caso, de igual forma que se realizó en el cono de la aguja, se procederá a realizar los mismos pasos para obtener los datos de medición en el vástago de la misma; para ello se toma en consideración lo siguiente:

- Ubicar la aguja nueva en la prensa del rugosímetro, con dirección del vástago hacia el sensor, como se ilustra en la gráfica 114.

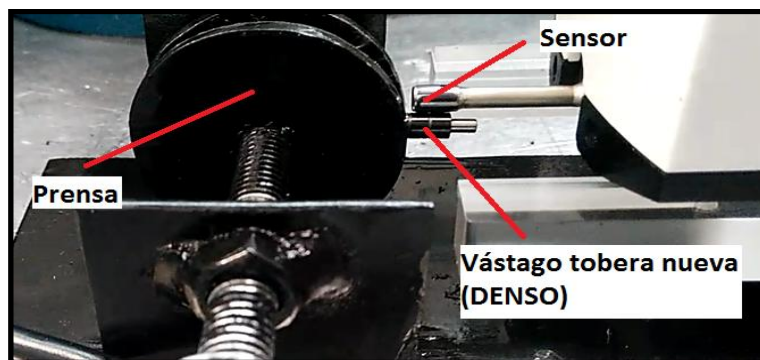


Figura 114. Sujeción del vástago de aguja de la tobera nueva (Denso)

- Tomar en cuenta que el palpador y el vástago donde se va a determinar la medición, estén en contacto en todo momento.
- Con la ayuda del software, accionar el botón de “Start”; en ese mismo instante el palpador empezará a moverse y a registrar las mediciones, como se indica en la figura 115.

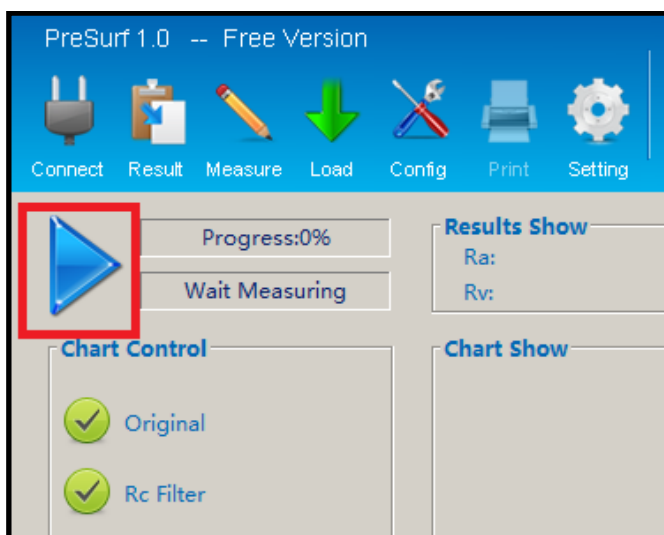


Figura 115. Botón “Start” para inicio de mediciones

- Los datos obtenidos de los parámetros de rugosidad se los visualiza en el display del rugosímetro y en la pantalla del software PresurfEnterprise, como se indica en la figura 116.

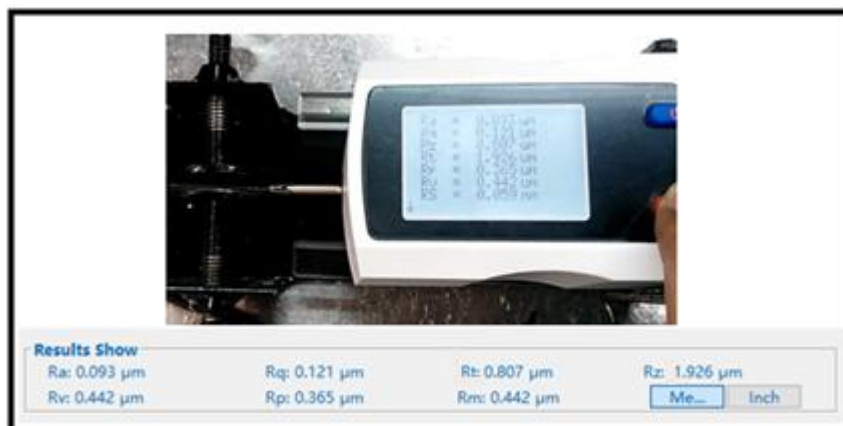


Figura 116. Datos de parámetros de aguja nueva en rugosímetro y software

- Además, se puede observar la gráfica tanto en la pantalla del rugosímetro, e inclusive en el programa. Como se muestra en la gráfica 117.

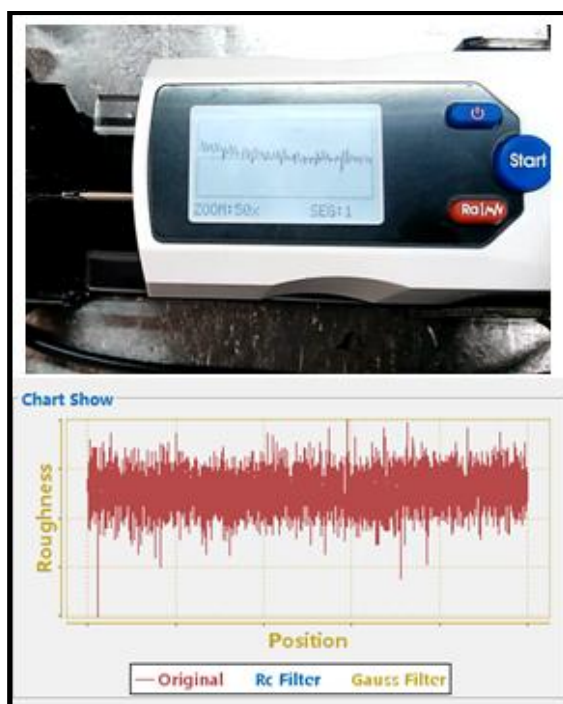


Figura 117 . Gráficas de rugosidad en aguja nueva en rugosímetro y software

3.4.3 Aguja de la tobera Delphi

a. Cono de la aguja

Una vez que se obtiene la aguja de la tobera nueva del inyector CRDI marca Delphi del vehículo Hyundai Terracan 2.9, se sigue con los siguientes pasos para poder obtener las medidas de rugosidad en el cono de la aguja de inyección:

- Sujetar la aguja de inyección sobre la prensa del pedestal del rugosímetro, con el cono de la aguja en dirección al sensor palpador, como se muestra en la figura 118.

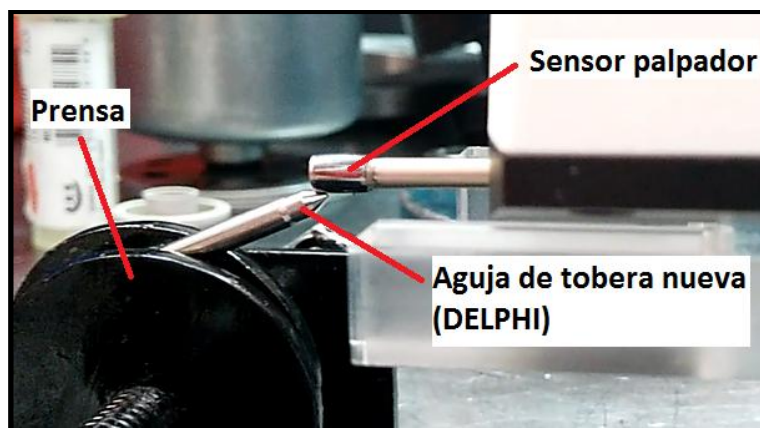


Figura 118. Sujeción del cono de la aguja de la tobera

- Verificar que en todo momento que el sensor se encuentre rozando a la superficie del cono, para que la medida no se altere.
- Desde el computador se oprime el botón de inicio para que el sensor empiece a trabajar y de inicio a registrar datos, como se indica en la figura 119.

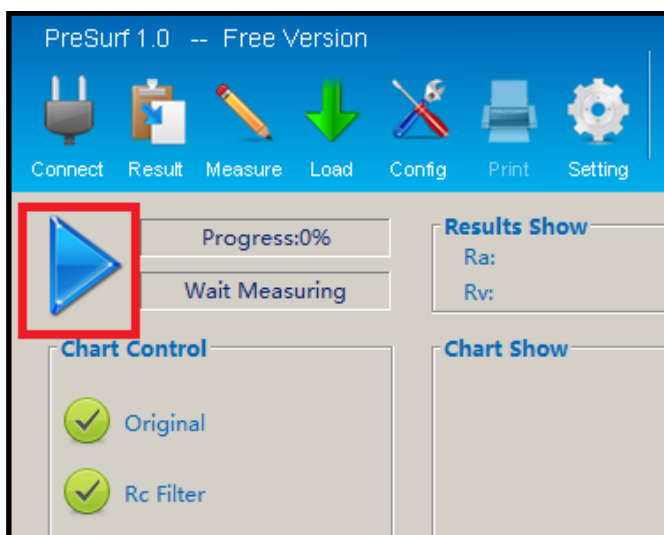


Figura 119. . Botón "Start" para inicio de mediciones

- Los valores de la rugosidad se los puede observar en la pantalla tanto del rugosímetro como en el del software del computador, como se muestra en la imagen 120:



Figura 120. Mediciones de parámetros en ambos dispositivos

- De igual manera al igual que los parámetros, las gráficas de rugosidad en la aguja de la tobera nueva se la puede ver en ambos dispositivos, como se muestra en la gráfica siguiente; verificando en todo momento que con la tecla “Enter” se puede generar el zoom, mientras que con las de “dirección” se puede cambiar el segmento, como se indica en la figura 121.

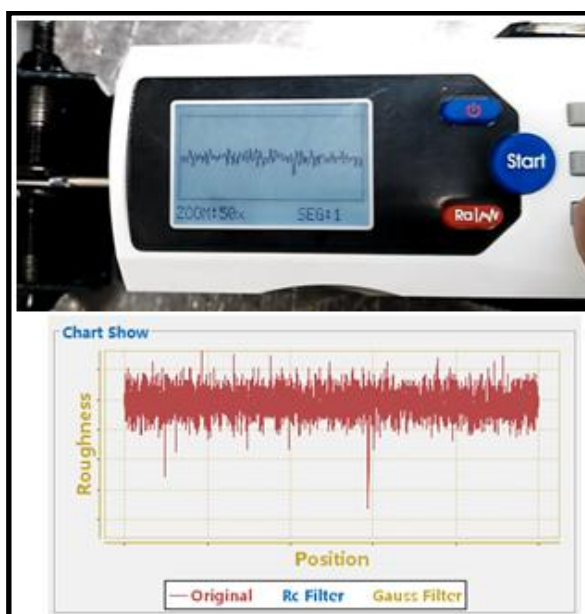


Figura 121. Gráficas de rugosidad en ambos dispositivos

b. Vástago de la aguja de la tobera

En el vástago de la aguja de la tobera se sigue el mismo procedimiento para la medición de la rugosidad que se hizo anteriormente con el cono, siguiendo los pasos:

- Sujetar por medio de la prensa del pedestal, la aguja de la tobera, con vástago en dirección del sensor del rugosímetro, como se ilustra en la figura 122.

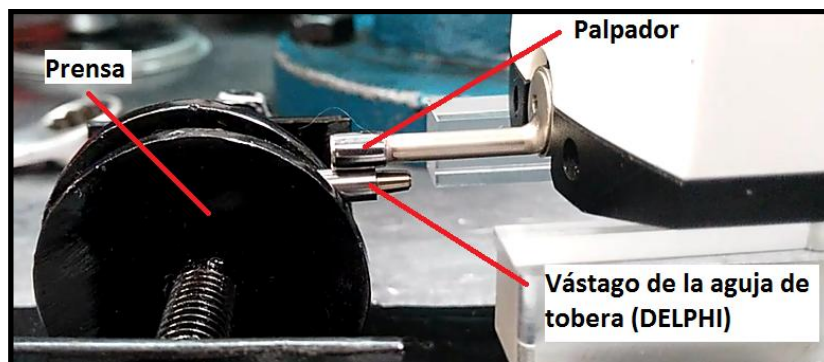


Figura 122. Sujeción de la aguja de tobera

- Verificar que ambas piezas (sensor y vástago) se encuentren rozando en todo momento.
- Desde el computador presionar el botón de “Start” para que empiece a realizar el trabajo el rugosímetro, como se indica en la figura 123.

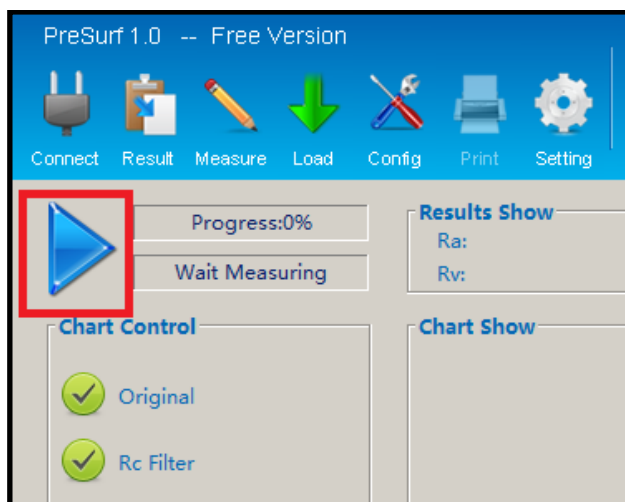


Figura 123. Botón “Start” para inicio de mediciones

- Observar las mediciones, con los parámetros de rugosidad, que se presentan en el display del aparato de medición y en la pantalla del software, como se ilustra en la figura 124.



Figura 124. Datos de parámetro de rugosidad en software y rugosímetro

- De igual forma las gráficas se lo puede verificar en ambos dispositivos, como indica la figura 125.

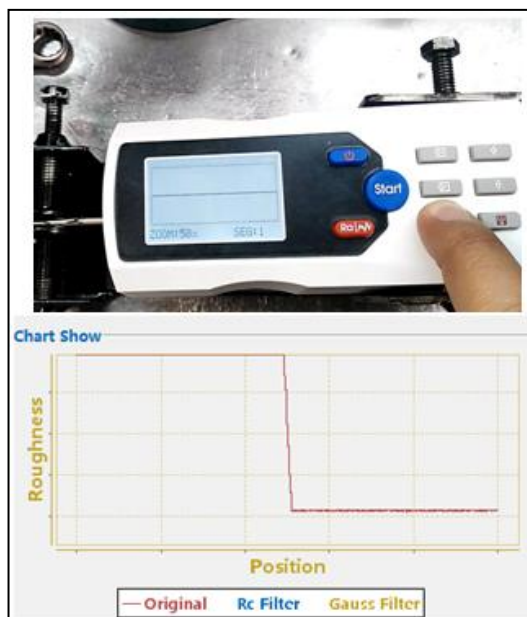


Figura 125. Gráficas de rugosidad en software y rugosímetro

3.5 Tabulación de datos iniciales

Tabla 11.

Condiciones iniciales inyector Bosch CRDI

Rugosidad del cono de la aguja (μm)						
Ra	Rq	Rt	Rz	Rp	Rv	Rm
0.066	0.089	0.596	0.913	0.308	0.288	0.288
Rugosidad del vástago de la aguja (μm)						
1.188	1.645	5.345	16.426	2.559	2.786	2.786

Tabla 12.

Condiciones iniciales inyector Denso CRDI

Rugosidad del cono de la aguja (μm)						
Ra	Rq	Rt	Rz	Rp	Rv	RS
0.068	0.088	0.576	0.892	0.264	0.312	0.312
Rugosidad del vástago de la aguja (μm)						
0.093	0.121	0.807	1.926	0.365	0.442	0.442

Tabla 13.**Condiciones iniciales inyector Delphi CRDI**

Rugosidad del cono de la aguja (μm)						
Ra	Rq	Rt	Rz	Rp	Rv	RS
0.040	0.088	0.718	1.034	0.312	0.406	0.406
Rugosidad del vástago de la aguja (μm)						
0.273	3.373	17.975	59.071	2.567	15.408	15.408

3.6 Mediciones desgaste en condiciones finales de la aguja de la tobera en inyectores CRDI

3.6.1 Inyector Bosch

a. Cono de aguja

Una vez que se realizó el despiece del conjunto tobera del inyector Bosch CRDI como se indica en el ítem 3.3.1, y luego de cumplir con los parámetros iniciales de comprobación del rugosímetro expuestos en los puntos 3.1.2 y 3.1.3, se debe cumplir con los siguientes pasos para la obtención de los parámetros de desgaste:

- Ubicar la aguja de la tobera en la prensa del pedestal del rugosímetro en dirección al sensor palpador del mismo, verificando que ambas superficies se mantengan tocándose, como se indica en la figura 126.

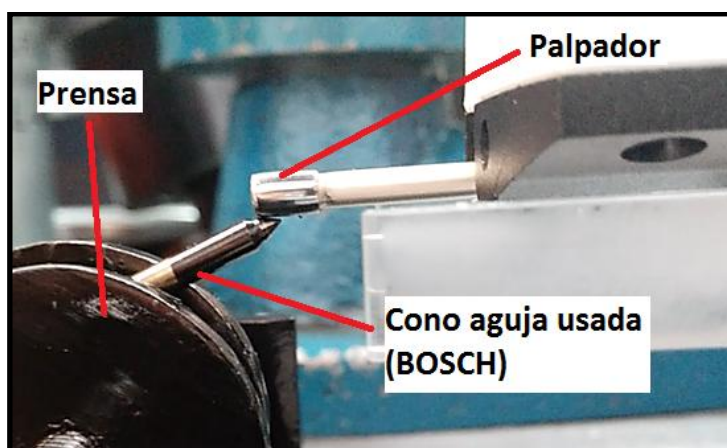


Figura 126. Sujeción de la aguja a la prensa

- Oprimir el botón de “Start” en la interface del software en el computador para que inicie el trabajo el palpador, como se indica en la figura 127.

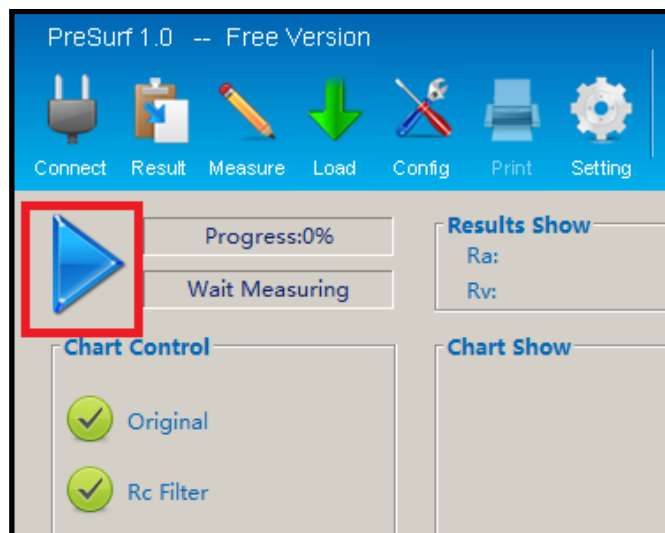


Figura 127. Botón “Start” para inicio de mediciones

- Verificar las medidas de los parámetros tanto en el computador como en el aparato de medición, como se indica en la figura 128.



Figura 128. Datos de desgaste obtenidos

- Visualizar las gráficas de rugosidad obtenidas, como se figuran en la imagen 129.

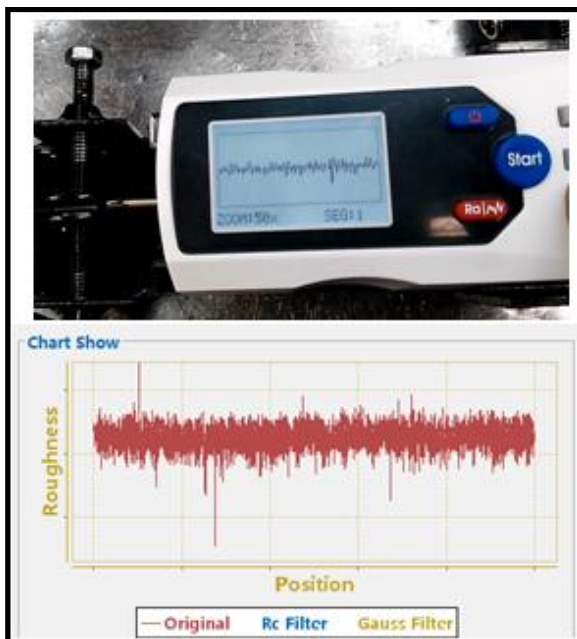


Figura 129, Gráfica del desgaste obtenido, visualizado en los dos dispositivos

b. Vástago de aguja

El proceso para la medición de rugosidad del vástago es el mismo que el realizado para el cono, se debe cumplir con los siguientes pasos:

- Ubicar la aguja de la tobera en la prensa del pedestal del rugosímetro con el vástago en dirección al sensor palpador, hay que tomar en cuenta que ambas superficies deben rozarse, como se indica en la figura 130.

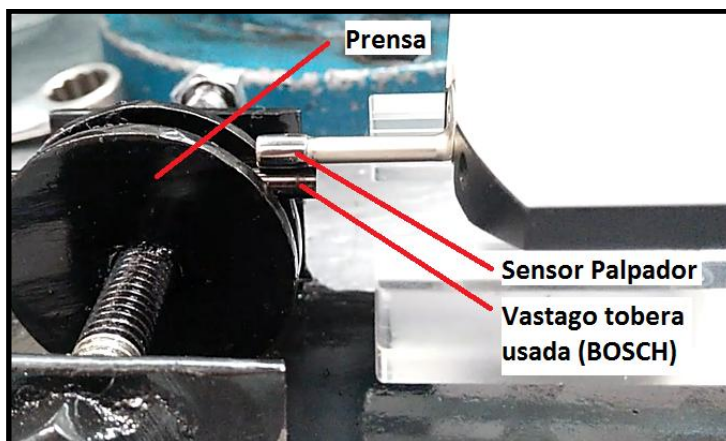


Figura 130. Sujeción del vástago de la aguja de tobera

- Oprimir el botón de “Start” en la interface del software en el computador para que inicie el trabajo en el rugosímetro, como se indica en la figura 131.

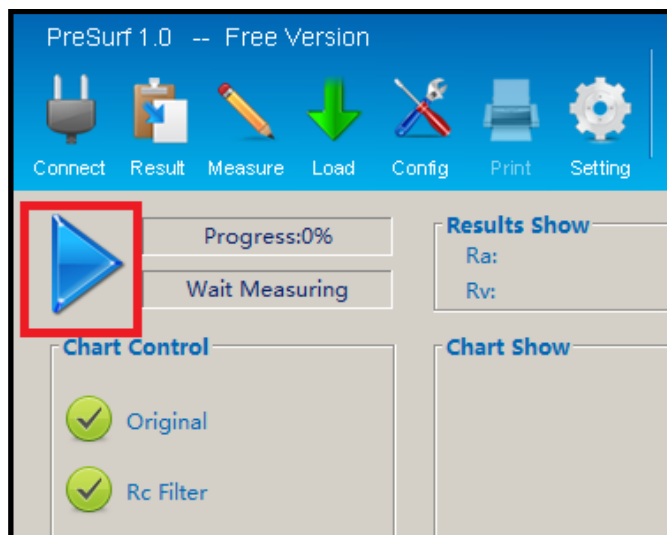


Figura 131. Botón “start” para el inicio de las mediciones

- Verificar las medidas de los parámetros tanto en el computador como en el aparato de medición, como indica la figura 132.



Figura 132. Mediciones de desgaste arrojados

- Visualizar las gráficas de rugosidad obtenidas, como se puede observar en la figura 133.

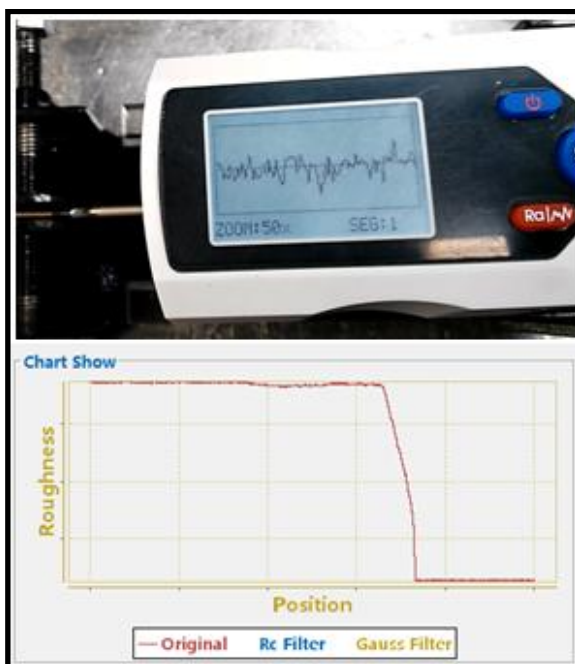


Figura 133. Gráficas de desgaste arrojados

3.6.2 Inyector Denso

a. Cono de aguja

Una vez realizado el desarmado del conjunto tobera del inyector Denso CRDI como se indican en los temas 3.3.1, y luego del cumplimiento de los parámetros de comprobación tomados en los puntos 3.1.2 y 3.1.3, se debe proseguir con los siguientes pasos:

- Poner la aguja de la tobera en la prensa del pedestal en sentido al sensor palpador, verificando que ambas superficies se toquen, como se indica en la figura 134.

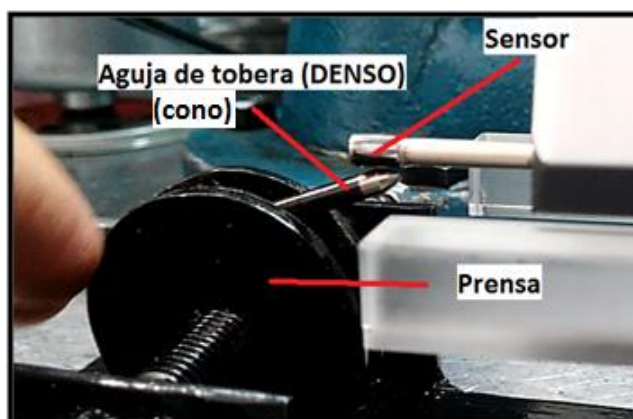


Figura 134. Sujeción de la aguja de la tobera usada (Denso)

- Dar clic el botón de “Start” en la interface del software en el computador para que inicie el trabajo el palpador, como se indica en la figura 135.

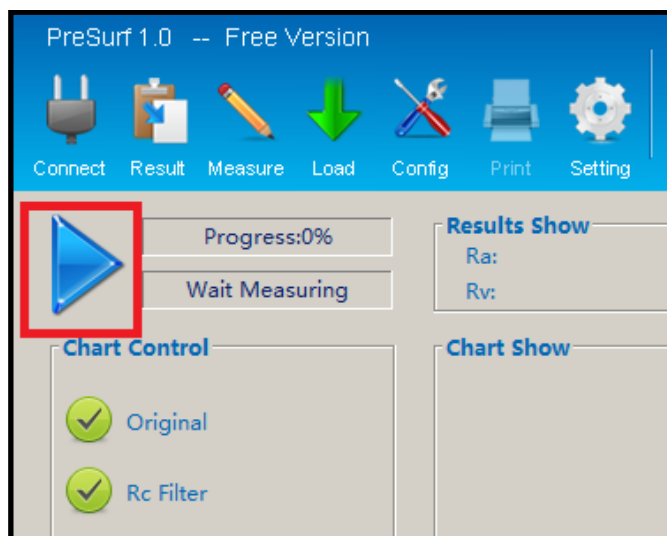


Figura 135. Botón “Start” para inicio de mediciones

- Observar que las medidas de los parámetros coinciden tanto en el computador como en el aparato de medición, como se puede observar en la figura 136.



Figura 136. Mediciones de desgaste arrojados del rugosímetro - software

- Visualizar las gráficas de rugosidad arrojadas por el instrumento en el software PresurfEnterprise, como se indica en la figura 137.

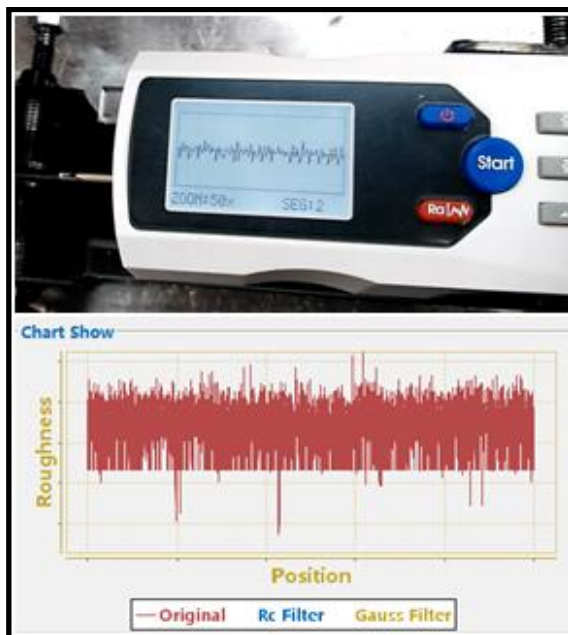


Figura 137. Gráficas de desgaste arrojados del rugosímetro - software

b. Vástago de aguja

Los pasos usados para la medición de desgaste en el vástago son similares que el realizado en el cono, por ello se realiza:

- Ubicar la aguja en la prensa del pedestal del rugosímetro, el vástago en trayectoria al sensor. Se debe considerar en todo momento que ambas superficies deben rozarse, como se figura en la imagen 138.

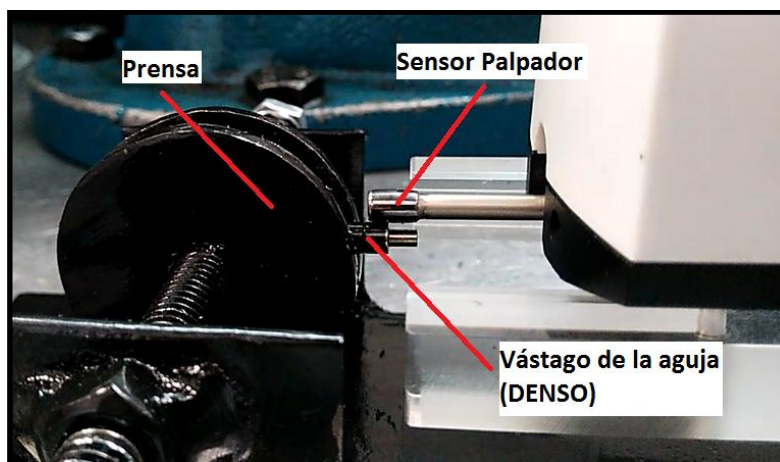


Figura 138. Sujeción del vástago de aguja de la tobera usada (Denso)

- Accionar el botón de “Start” en el software PresurfEntreprise en el computador para que se accione el rugosímetro, como se muestra en la figura 139.

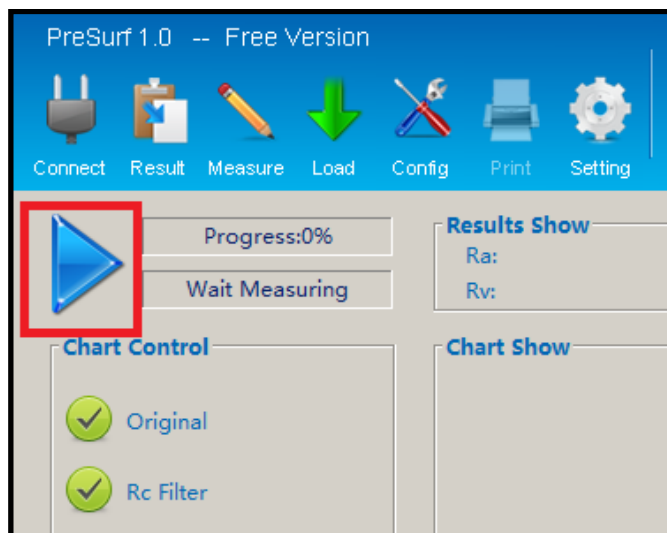


Figura 139. Botón “Start” para inicio de mediciones

- Observar que los datos de rugosidad se muestran en los dos dispositivos (rugosímetro y computador), como se indica en la figura 140.



Figura 140. Mediciones de desgaste arrojados del rugosímetro - software

- De igual manera se puede observar las gráficas, como se muestra en la figura 141.

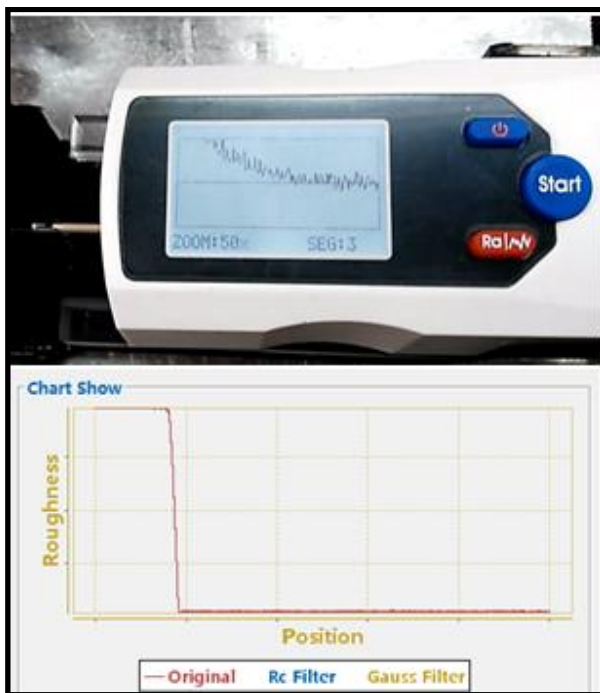


Figura 141. Gráficas de desgaste arrojados del rugosímetro - software

3.6.3 Inyector Delphi

a. Cono de aguja

Una vez realizado el desarmado del conjunto tobera del inyector Denso CRDI como se indican en los temas 3.3.1, y luego del cumplimiento de los parámetros de comprobación tomados en los puntos 3.1.2 y 3.1.3, se debe proseguir con los siguientes pasos:

- Poner la aguja de la tobera en la prensa del pedestal en sentido al sensor palpador, verificando que ambas superficies se toquen, como se muestra en la figura 142.

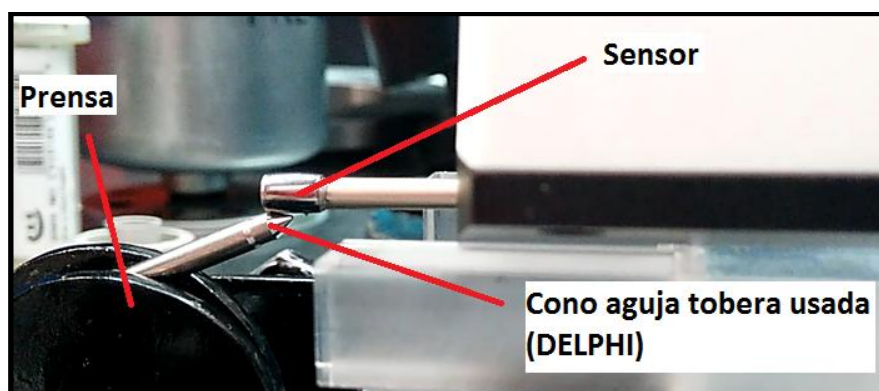


Figura 142. Sujeción del cono de la aguja

- Dar clic el botón de “Start” en la interface del software en el computador para que inicie el trabajo el palpador, tal cual se muestra en la figura 143.

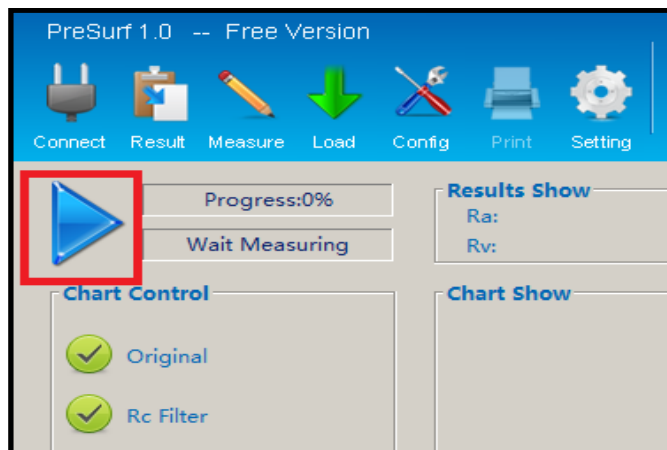


Figura 143. Botón “Start” para inicio de mediciones

- Observar las medidas de los parámetros que arroja el rugosímetro en la pantalla principal del computador, como se muestra en la figura 144.



Figura 144. Mediciones de desgaste arrojados del rugosímetro - software

- Visualizar las gráficas de rugosidad arrojadas por el instrumento en el software PresurfEnterprise. Como muestra en la gráfica 145.

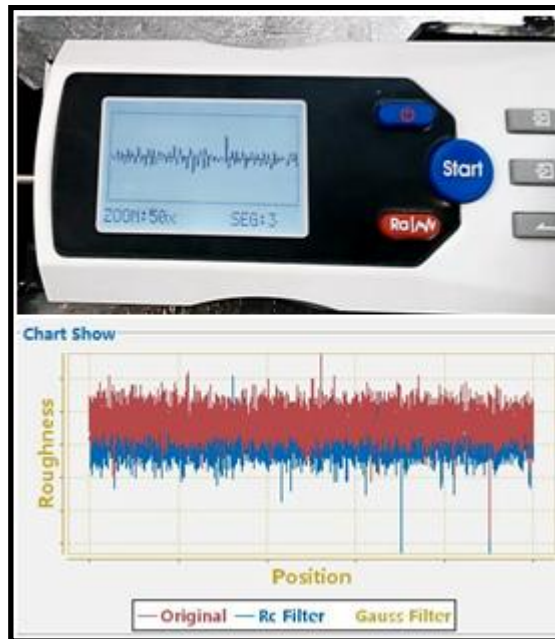


Figura 145. Gráficas de desgaste arrojados del rugosímetro - software

b. Vástago de aguja

Los pasos usados para la medición de desgaste en el vástago son similares que el realizado en el cono, por ello se realiza:

- Ubicar la aguja en la prensa del pedestal del rugosímetro, el vástago en trayectoria al sensor. Se debe considerar en todo momento que ambas superficies deben rozarse, como se ilustra en la figura 146.

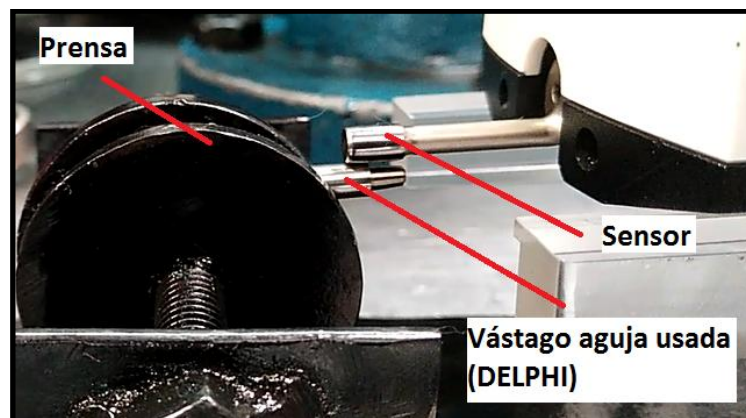


Figura 146. Sujeción del vástago en la prensa

- Accionar el botón de “Start” en el software PresurfEnterprise en el computador para que se accione el rugosímetro, como se muestra en la figura 147.

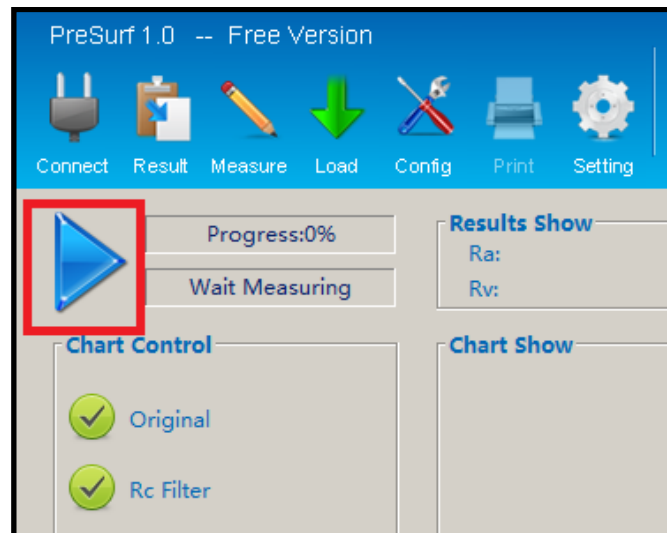


Figura 147. Botón “Start” para inicio de mediciones

- Observar que los datos de rugosidad se muestran en los dos dispositivos (rugosímetro y computador), como se indican en la figura 148.



Figura 148. Mediciones de desgaste arrojados del rugosímetro - software

- De igual manera se puede observar las gráficas, como se indica en la figura 149.

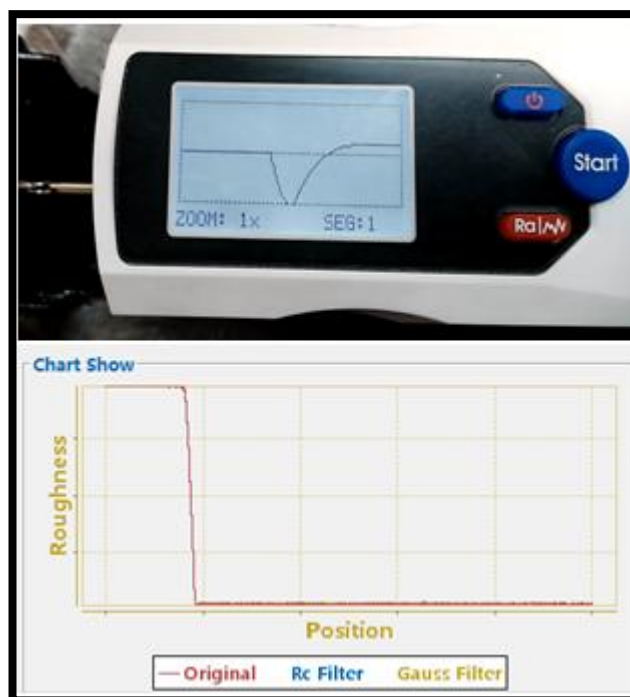


Figura 149. Gráficas de desgaste arrojados del rugosímetro - software

3.7 Tabulación de datos finales

Tabla 14.

Condiciones finales inyector Bosch CRDI

Rugosidad superficial del cono de la aguja (μm)						
Ra	Rq	Rt	Rz	Rp	Rv	Rm
0.071	0.095	0.856	1.419	0.349	0.507	0.507
Rugosidad del vástago de la aguja (μm)						
1.831	2.448	9.636	34.615	2.072	7.564	7.564

Tabla 15.

Condiciones finales inyector Denso CRDI

Rugosidad superficial del cono de la aguja (μm)						
Ra	Rq	Rt	Rz	Rp	Rv	Rm
0.086	0.112	0.685	0.892	0.292	0.393	0.393
Rugosidad del vástago de la aguja (μm)						
0.285	3.529	13.538	58.909	3.772	9.766	9.766

Tabla 16.

Condiciones finales inyector Delphi CRDI

Rugosidad superficial del cono de la aguja (μm)						
Ra	Rq	Rt	Rz	Rp	Rv	Rm
0.070	0.093	0.665	0.933	0.373	0.292	0.292
Rugosidad del vástago de la aguja (μm)						
0.296	4.387	21.982	59.416	2.644	19.338	19.338

3.8 Análisis de resultados

En la medición de rugosidad del conjunto tobera (aguja de la tobera) de las tres diferentes marcas a ser estudiadas se tomaron en cuenta los mismos parámetros de medición; es decir que en base a la norma ISO 468:1982; con una línea de corte de 0.8 mm y con un rango de 40 micrómetros de tolerancia de medición.

3.8.1 Rugosidad de la aguja de la tobera NUEVA del inyector Delphi (Hyundai Terracan 2.9)

a. Análisis del cono de la aguja

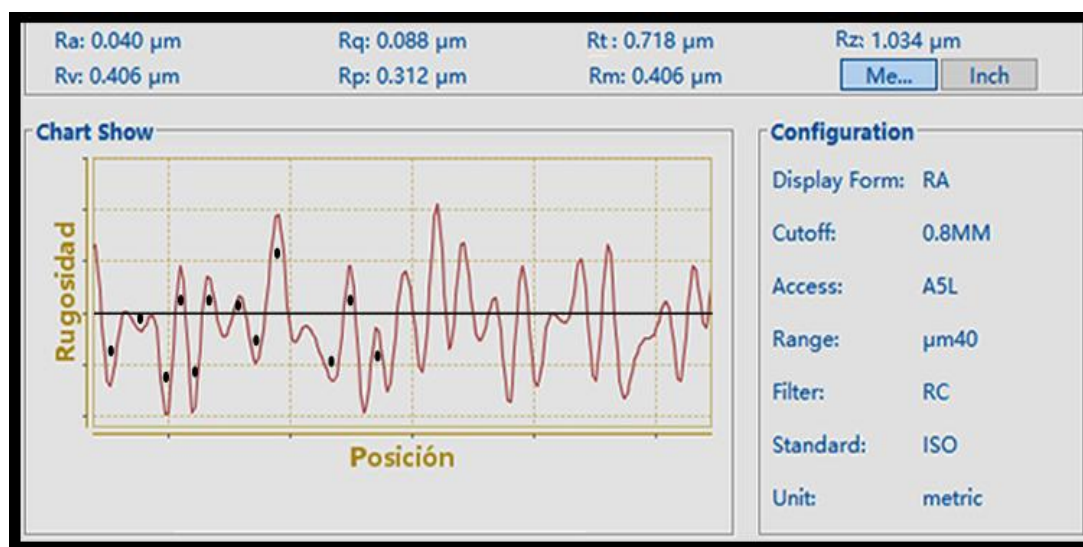


Figura 150. Rugosidad del cono de la aguja de Tobera inyector Delphi

En la figura 150, se puede analizar que el parámetro de rugosidad $Ra = 0.040$ micrómetros se obtienen por la media de todos los picos y valles de dicha medición; por lo cual se ha representado un segmento de puntos negros indicando los n picos y valles para el análisis de dicho parámetro.

Análisis Matemático

$$Ra = \frac{1}{Lm} \int_0^{Lm} |y| dx$$

Dónde:

$$Lm = 1.2 \text{ um}$$

$$|Y| = -\frac{X^2 - 2.4X + 0.815}{3.6}$$

Cálculo de Ra:

$$Ra = \frac{1}{Lm} \int_0^{Lm} -\frac{x^2 - 2.4x + 0.815}{3.6} dx$$

$$Ra = \frac{1}{Lm} * -\frac{1}{3.6} \int_0^{Lm} x^2 - 2.4x + 0.815 dx$$

$$Ra = \frac{1}{Lm} * -\frac{1}{3.6} \left[\int_0^{Lm} x^2 dx - \int_0^{Lm} 2.4x dx + \int_0^{Lm} 0.815 dx \right]$$

$$Ra = \frac{1}{1.2} * -\frac{1}{3.6} \left[\frac{x^3}{3} - \frac{2.4x^2}{2} + 0.815x \right]$$

$$Ra = \frac{1}{1.2} * -\frac{1}{3.6} \left[\frac{(1.2)^3}{3} - \frac{(2.4)(1.2)^2}{2} + (0.815)(1.2) \right]$$

$$Ra = -0.231(0.576 - 1.728 + 0.978)$$

$$Ra = -0.133056 + 0.399168 - 0.225918$$

$$Ra = 0.0401 \text{ um}$$

Cálculo de Rq:

$$Rq = \sqrt{\frac{1}{Lm} \int_0^{Lm} y^2 dx}$$

Dónde:

$$Lm = 1.2 \text{ um}$$

$$|Y| = -\frac{X^2 - 2.4X + 0.815}{3.6}$$

$$Rq = \sqrt{\frac{1}{Lm} \int_0^{Lm} \left(\frac{x^2 - 2.4x + 0.815}{3.6} \right)^2 dx}$$

$$Rq = \sqrt{\frac{1}{Lm} * \frac{1}{12.96} \int_0^{Lm} (x^2 - 2.4x + 0.815)^2 dx}$$

$$Rq = \sqrt{\frac{1}{Lm} * \frac{1}{12.96} \left[\frac{(x^2 - 2.4x + 0.815)^3}{3} \right]}$$

$$Rq = \sqrt{\frac{1}{1.2} * \frac{1}{12.96} * \frac{1}{3} [(1.2)^2 - (2.4)(1.2) + 0.815]^3}$$

$$Rq = 0.088 \text{ um}$$

Mediante un cálculo integral se obtiene el parámetro Ra y Rq comprobando así el valor determinado por el rugosímetro en la figura 150.

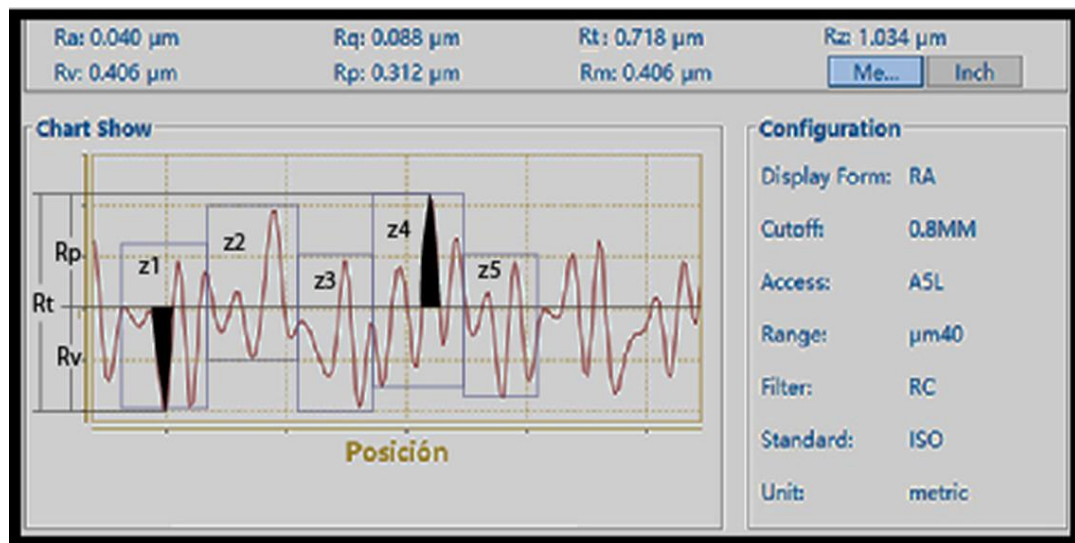


Figura 151. Rugosidad punta cónica de la aguja de Tobera inyector Delphi

En la figura 151, se puede analizar los parámetros de rugosidad Rp, Rv, Rt, y Rz; como se puede observar Rp va ser el pico más alto a partir de la línea media representado por color negro; Rv el valle más bajo a partir de la línea media representado por color negro; Rt la suma de Rp y Rv dando un valor de 0.718 micrómetros dato obtenido por el rugosímetro y representado en la parte superior de la interface; el parámetro Rz es un valor que representa un promedio de la rugosidad máxima obtenida por cinco tramos de medición consecutiva Z1, Z2, Z3, Z4, Y Z5, tal como se muestra en la figura; obteniendo así un valor dado de 1.034 micrómetros.

Cálculo de Rt:

$$Rt = Rp + Rv$$

Dónde:

Rp= Es el pico más alto desde la línea media Lm.

R_v = Es el valle más bajo desde la línea media L_m .

$$R_t = 0.312 + 0.406$$

$$R_t = 0.718 \text{ um}$$

Se determina el parámetro R_t por la sumatoria de R_p+R_v ; comprobando así el valor obtenido por el rugosímetro en la figura 151.

Cálculo de R_z :

$$R_z = \frac{Z_1 + Z_2 + Z_3 + Z_4 + Z_5}{5}$$

Dónde:

$$Z_1 = 1.6 \text{ um}$$

$$Z_2 = 0.88 \text{ um}$$

$$Z_3 = 0.56 \text{ um}$$

$$Z_4 = 1.77 \text{ um}$$

$$Z_5 = 0.36 \text{ um}$$

$$R_z = \frac{1.6 + 0.88 + 0.56 + 1.77 + 0.36}{5}$$

$$R_z = 1.034 \text{ um}$$

Se determina el parámetro R_z con la media de cinco tramos consecutivos, comprobando así el valor obtenido por el rugosímetro en la figura 151.

b. Rugosidad del vástago de la aguja

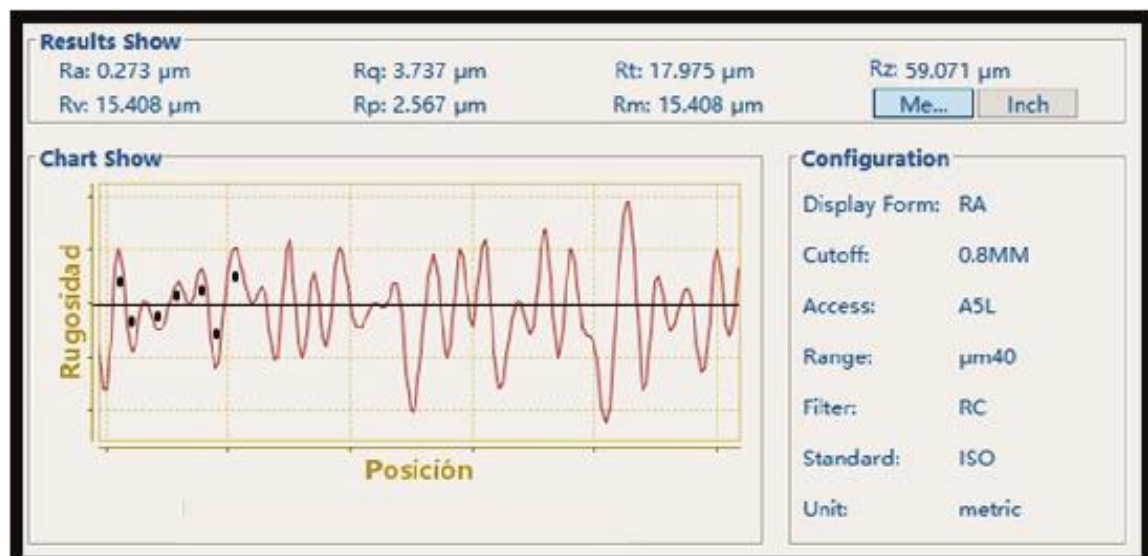


Figura 152. Rugosidad vástago de la aguja de Tobera inyector Delphi

En la figura 152, se puede analizar que el parámetro de rugosidad $Ra = 0.273$ micrómetros se obtienen por la media de todos los picos y valles de dicha medición; por lo cual se ha representado un segmento de puntos negros indicando los n picos y valles para el análisis de dicho parámetro.

Análisis Matemático

$$Ra = \frac{1}{Lm} \int_0^{Lm} |y| dx$$

Dónde:

$$Lm = 1.4 \text{ um}$$

$$|Y| = -\frac{X^2 - 2.9X + 0.392}{3.6}$$

Cálculo de Ra:

$$Ra = \frac{1}{Lm} \int_0^{Lm} -\frac{x^2 - 2.9x + 0.392}{3.6} dx$$

$$Ra = \frac{1}{Lm} * -\frac{1}{3.6} \int_0^{Lm} x^2 - 2.9x + 0.392 dx$$

$$Ra = \frac{1}{Lm} * -\frac{1}{3.6} \left[\int_0^{Lm} x^2 dx - \int_0^{Lm} 2.9x dx + \int_0^{Lm} 0.392 dx \right]$$

$$Ra = \frac{1}{1.4} * -\frac{1}{3.6} \left[\frac{x^3}{3} - \frac{2.9x^2}{2} + 0.392x \right]$$

$$Ra = \frac{1}{1.4} * -\frac{1}{3.6} \left[\frac{(1.4)^3}{3} - \frac{(2.4)(1.4)^2}{2} + (0.392)(1.4) \right]$$

$$Ra = -0.198(0.914 - 2.842 + 0.5488)$$

$$Ra = -0.1814 + 0.5638 - 0.1088$$

$$Ra = 0.2736 \text{ um}$$

Cálculo de Rq:

$$Rq = \sqrt{\frac{1}{Lm} \int_0^{Lm} y^2 dx}$$

Dónde:

$$Lm = 1.4 \text{ um}$$

$$|Y| = -\frac{X^2 - 2.9X + 0.392}{3.6}$$

$$Rq = \sqrt{\frac{1}{Lm} \int_0^{Lm} \left(\frac{x^2 - 2.9x + 0.392}{3.6} \right)^2 dx}$$

$$Rq = \sqrt{\frac{1}{Lm} * \frac{1}{12.96} \int_0^{Lm} (x^2 - 2.9x + 0.392)^2 dx}$$

$$Rq = \sqrt{\frac{1}{Lm} * \frac{1}{12.96} \left[\frac{(x^2 - 2.9x + 0.392)^3}{3} \right]}$$

$$Rq = \sqrt{\frac{1}{1.4} * \frac{1}{12.96} * \frac{1}{3} [(1.4)^2 - (2.9)(1.4) + 0.392]^3}$$

Rq = 3.737 um

Mediante un cálculo integral se obtiene el parámetro Ra y Rq comprobando así el valor determinado por el rugosímetro en la figura 152.

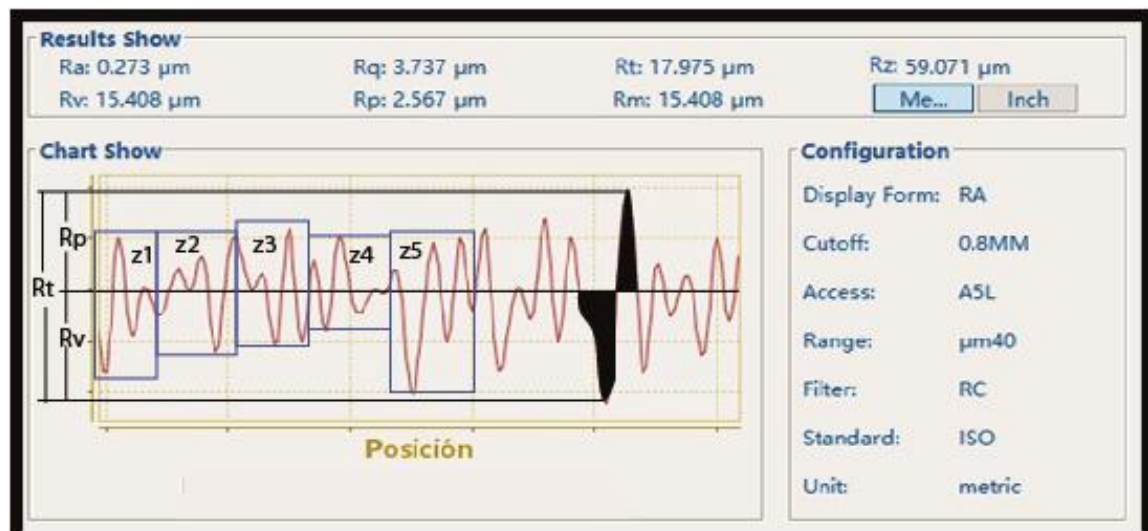


Figura 153. Rugosidad vástago de la aguja de Tobera inyector Delphi

En la figura 153, se puede analizar los parámetros de rugosidad Rp, Rv, Rt, y Rz; como se puede observar Rp va ser el pico más alto a partir de la línea media representado por color negro; Rv el valle más bajo a partir de la línea media representado por color negro; Rt la suma de Rp y Rv dando un valor de 17.975 micrómetros dato obtenido por el rugosímetro y representado en la parte superior de la interface; el parámetro Rz es un valor que representa un promedio de la rugosidad máxima obtenida por cinco tramos de medición consecutiva Z1, Z2, Z3, Z4, Y Z5, tal como se muestra en la figura; obteniendo así un valor dado de 59.071 micrómetros.

Cálculo de Rt:

$$R_t = R_p + R_v$$

Dónde:

R_p = Es el pico más alto desde la línea media L_m .

R_v = Es el valle más bajo desde la línea media L_m .

$$R_t = 2.567 + 15.408$$

$$R_t = 17.975 \text{ um}$$

Se determina el parámetro R_t por la sumatoria de R_p+R_v ; comprobando así el valor obtenido por el rugosímetro en la figura 153.

Cálculo de R_z :

$$R_z = \frac{Z_1 + Z_2 + Z_3 + Z_4 + Z_5}{5}$$

Dónde:

$$Z_1=68 \text{ um}$$

$$Z_2=42,237 \text{ um}$$

$$Z_3=56 \text{ um}$$

$$Z_4=40,118 \text{ um}$$

$$Z_5=89 \text{ um}$$

$$R_z = \frac{68 + 42,237 + 56 + 40,118 + 89}{5}$$

$$R_z = 59,071 \text{ um}$$

Se determina el parámetro R_z con la media de cinco tramos consecutivos, comprobando así el valor obtenido por el rugosímetro en la figura 153.

3.8.2 Rugosidad del cono de la aguja de la tobera USADA del inyector Delphi (Hyundai Terracan 2.9)

a. Análisis del cono de la aguja

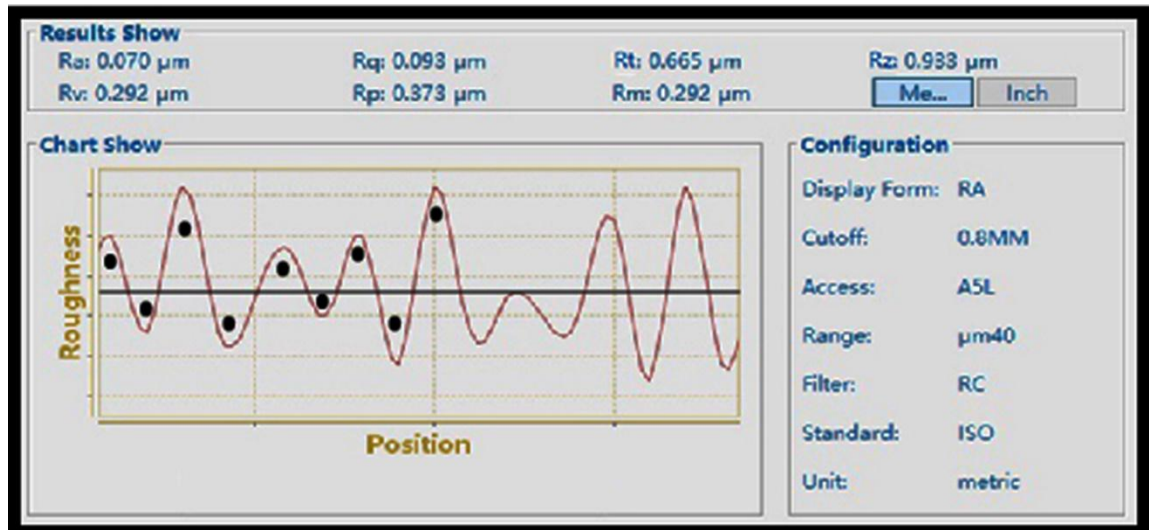


Figura 154. Rugosidad del cono de la aguja de Tobera inyector Delphi

En la figura 154, se puede analizar que el parámetro de rugosidad $R_a = 0.070$ micrómetros se obtienen por la media de todos los picos y valles de dicha medición; por lo cual se ha representado un segmento de puntos negros indicando los n picos y valles para el análisis de dicho parámetro.

Análisis Matemático

$$R_a = \frac{1}{L_m} \int_0^{L_m} |y| dx$$

Dónde:

$$L_m = 1.3 \text{ um}$$

$$|Y| = -\frac{X^2 - 1.9X + 0.473}{2.8}$$

Cálculo de R_a :

$$R_a = \frac{1}{L_m} \int_0^{L_m} -\frac{x^2 - 1.9x + 0.473}{2.8} dx$$

$$R_a = \frac{1}{L_m} * -\frac{1}{2.8} \int_0^{L_m} x^2 - 1.9x + 0.473 dx$$

$$R_a = \frac{1}{L_m} * -\frac{1}{2.8} \left[\int_0^{L_m} x^2 dx - \int_0^{L_m} 1.9x dx + \int_0^{L_m} 0.473 dx \right]$$

$$Ra = \frac{1}{1.3} * -\frac{1}{2.8} \left[\frac{x^3}{3} - \frac{1.9x^2}{2} + 0.473x \right]$$

$$Ra = \frac{1}{1.3} * -\frac{1}{2.8} \left[\frac{(1.3)^3}{3} - \frac{(1.9)(1.3)^2}{2} + (0.473)(1.3) \right]$$

$$Ra = -0.274(0.732 - 1.605 + 0.614)$$

$$Ra = -0.201 + 0.441 - 0.168$$

$$\mathbf{Ra = 0.070 \text{ um}}$$

Cálculo de Rq:

$$Rq = \sqrt{\frac{1}{Lm} \int_0^{Lm} y^2 dx}$$

Dónde:

$$Lm = 1.3 \text{ um}$$

$$|Y| = -\frac{X^2 - 1.9X + 0.473}{2.8}$$

$$Rq = \sqrt{\frac{1}{Lm} \int_0^{Lm} \left(\frac{x^2 - 1.9x + 0.473}{2.8} \right)^2 dx}$$

$$Rq = \sqrt{\frac{1}{Lm} * \frac{1}{7.84} \int_0^{Lm} (x^2 - 1.9x + 0.473)^2 dx}$$

$$Rq = \sqrt{\frac{1}{Lm} * \frac{1}{7.84} \left[\frac{(x^2 - 1.9x + 0.473)^3}{3} \right]}$$

$$Rq = \sqrt{\frac{1}{1.3} * \frac{1}{7.84} * \frac{1}{3} [(1.3)^2 - (1.9)(1.3) + 0.473]^3}$$

$$\mathbf{Rq = 0.093 \text{ um}}$$

Mediante un cálculo integral se obtiene el parámetro Ra y Rq comprobando así el valor determinado por el rugosímetro en la figura 154.

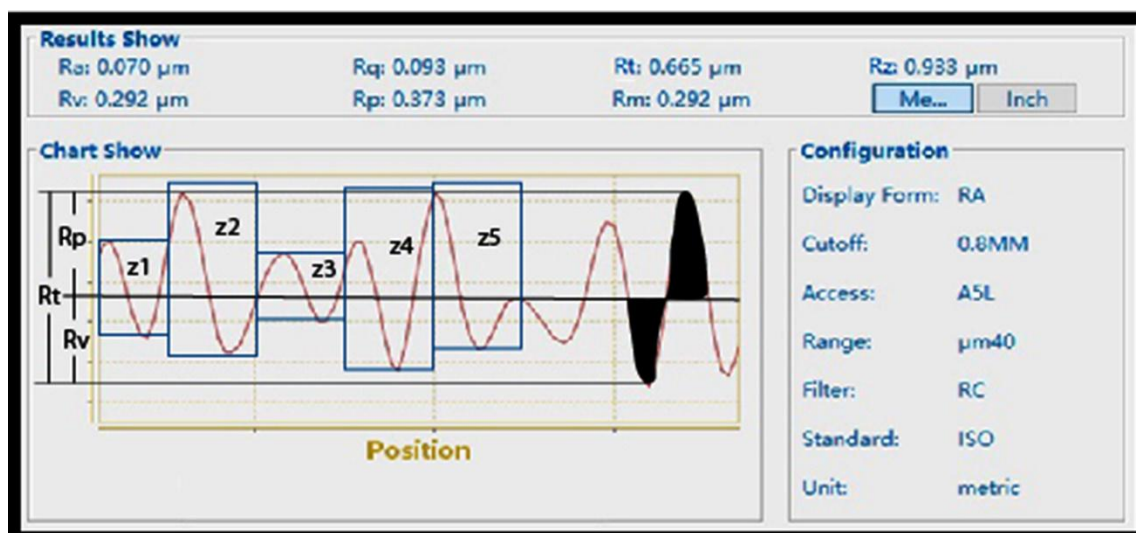


Figura 155. Rugosidad punta cónica de la aguja de Tobera inyector Delphi

En la figura 155, se puede analizar los parámetros de rugosidad Rp, Rv, Rt, y Rz; como se puede observar Rp va ser el pico más alto a partir de la línea media representado por color negro; Rv el valle más bajo a partir de la línea media representado por color negro; Rt la suma de Rp y Rv dando un valor de 0.665 micrómetros dato obtenido por el rugosímetro y representado en la parte superior de la interface; el parámetro Rz es un valor que representa un promedio de la rugosidad máxima obtenida por cinco tramos de medición consecutiva Z1, Z2, Z3, Z4, Y Z5, tal como se muestra en la figura; obteniendo así un valor dado de 0.933 micrómetros.

Cálculo de Rt:

$$Rt = Rp + Rv$$

Dónde:

Rp= Es el pico más alto desde la línea media Lm.

Rv= Es el valle más bajo desde la línea media Lm.

$$Rt = 0.373 + 0.292$$

$$Rt = 0.665 \text{ um}$$

Se determina el parámetro Rt por la sumatoria de Rp+Rv; comprobando así el valor obtenido por el rugosímetro en la figura 155.

Cálculo de Rz:

$$Rz = \frac{Z1 + Z2 + Z3 + Z4 + Z5}{5}$$

Dónde:

$$Z1=0.49 \text{ um}$$

$$Z2=0.86 \text{ um}$$

$$Z3=0.105 \text{ um}$$

$$Z4=1.66 \text{ um}$$

$$Z5=1.55 \text{ um}$$

$$Rz = \frac{0.49 + 0.86 + 0.105 + 1.66 + 1.55}{5}$$

$$Rz = 0.933 \text{ um}$$

Se determina el parámetro Rz con la media de cinco tramos consecutivos, comprobando así el valor obtenido por el rugosímetro en la figura 155.

b. Rugosidad del vástago de la aguja

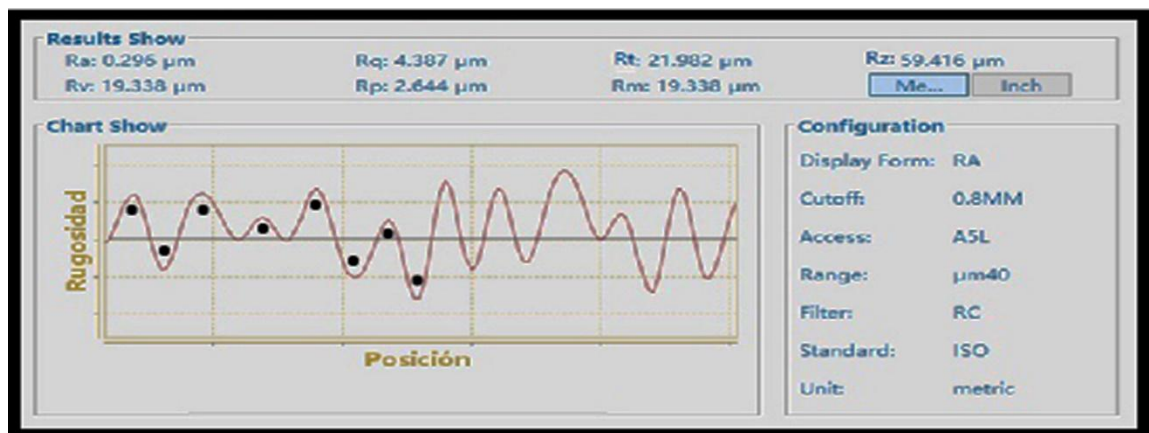


Figura 156. Rugosidad vástago de la aguja de Tobera inyector Delphi

En la figura 156, se puede analizar que el parámetro de rugosidad $Ra = 0.296$ micrómetros se obtienen por la media de todos los picos y valles de dicha medición; por lo cual se ha representado un segmento de puntos negros indicando los n picos y valles para el análisis de dicho parámetro.

Análisis Matemático

$$Ra = \frac{1}{Lm} \int_0^{Lm} |y| dx$$

Dónde:

$$Lm = 1.5 \text{ um}$$

$$|Y| = -\frac{X^2 - 2.44X + 0.4}{2.3}$$

Cálculo de Ra:

$$Ra = \frac{1}{Lm} \int_0^{Lm} -\frac{x^2 - 2.44x + 0.4}{2.3} dx$$

$$Ra = \frac{1}{Lm} * -\frac{1}{2.3} \int_0^{Lm} x^2 - 2.44x + 0.4 dx$$

$$Ra = \frac{1}{Lm} * -\frac{1}{2.3} \left[\int_0^{Lm} x^2 dx - \int_0^{Lm} 2.44x dx + \int_0^{Lm} 0.4 dx \right]$$

$$Ra = \frac{1}{1.5} * -\frac{1}{2.3} \left[\frac{x^3}{3} - \frac{2.44x^2}{2} + 0.4x \right]$$

$$Ra = \frac{1}{1.5} * -\frac{1}{2.3} \left[\frac{(1.5)^3}{3} - \frac{(2.44)(1.5)^2}{2} + (0.4)(1.5) \right]$$

$$Ra = -0.289(1.125 - 2.745 + 0.6)$$

$$Ra = -0.3260 + 0.7956 - 0.1739$$

$$\mathbf{Ra = 0.296 \text{ um}}$$

Cálculo de Rq:

$$Rq = \sqrt{\frac{1}{Lm} \int_0^{Lm} y^2 dx}$$

Dónde:

$$Lm = 1.5 \text{ um}$$

$$|Y| = -\frac{X^2 - 2.44X + 0.4}{2.3}$$

$$Rq = \sqrt{\frac{1}{Lm} \int_0^{Lm} \left(\frac{x^2 - 2.44x + 0.4}{2.3} \right)^2 dx}$$

$$Rq = \sqrt{\frac{1}{Lm} * \frac{1}{5.29} \int_0^{Lm} (x^2 - 2.44x + 0.4)^2 dx}$$

$$Rq = \sqrt{\frac{1}{Lm} * \frac{1}{5.29} \left[\frac{(x^2 - 2.44x + 0.4)^3}{3} \right]}$$

$$Rq = \sqrt{\frac{1}{1.5} * \frac{1}{5.29} * \frac{1}{3} [(1.5)^2 - (2.44)(1.5) + 0.4]^3}$$

$$\mathbf{Rq = 4.387 \text{ um}}$$

Mediante un cálculo integral se obtiene el parámetro Ra y Rq comprobando así el valor determinado por el rugosímetro en la figura 156.

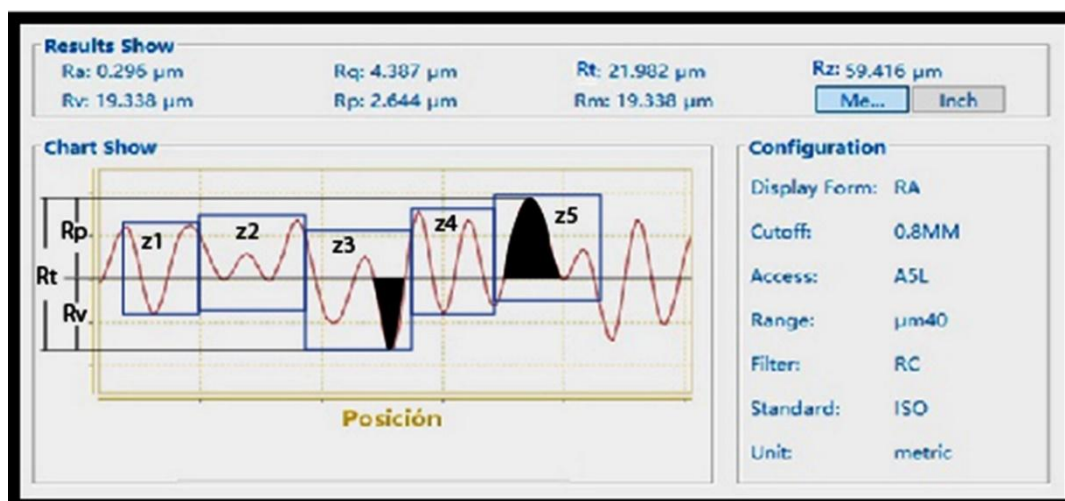


Figura 157. Rugosidad vástago de la aguja de Tobera inyector Delphi

En la figura 157, se puede analizar los parámetros de rugosidad Rp, Rv, Rt, y Rz; como se puede observar Rp va ser el pico más alto a partir de la línea media representado por color negro; Rv el valle más bajo a partir de la línea media representado por color negro; Rt la suma de Rp y Rv dando un valor de 21.982 micrómetros dato obtenido por el rugosímetro y representado en la parte superior de la interface; el parámetro Rz es un valor que representa un promedio de la rugosidad máxima obtenida por cinco tramos de medición consecutiva Z1, Z2, Z3, Z4, Y Z5, tal como se muestra en la figura; obteniendo así un valor dado de 59.416 micrómetros.

Cálculo de Rt:

$$Rt = Rp + Rv$$

Dónde:

Rp= Es el pico más alto desde la línea media Lm.

Rv= Es el valle más bajo desde la línea media Lm.

$$Rt = 2.644 + 19.338$$

$$Rt = 21.982 \text{ um}$$

Se determina el parámetro Rt por la sumatoria de Rp+Rv; comprobando así el valor obtenido por el rugosímetro en la figura 157.

Cálculo de Rz:

$$Rz = \frac{Z1 + Z2 + Z3 + Z4 + Z5}{5}$$

Dónde:

$$Z1=9,68 \text{ um}$$

$$Z2=26 \text{ um}$$

$$Z3=120,4 \text{ um}$$

$$Z4=60,8 \text{ um}$$

$$Z5=80,2 \text{ um}$$

$$Rz = \frac{9,68 + 26 + 120,4 + 60,8 + 80,2}{5}$$

$$Rz = 59.416 \text{ um}$$

Se determina el parámetro Rz con la media de cinco tramos consecutivos, comprobando así el valor obtenido por el rugosímetro en la figura 154.

3.8.3 Rugosidad de la aguja de la tobera NUEVA del inyector Bosch (Mazda Bt-50 2.5)

a. Rugosidad del cono de la aguja

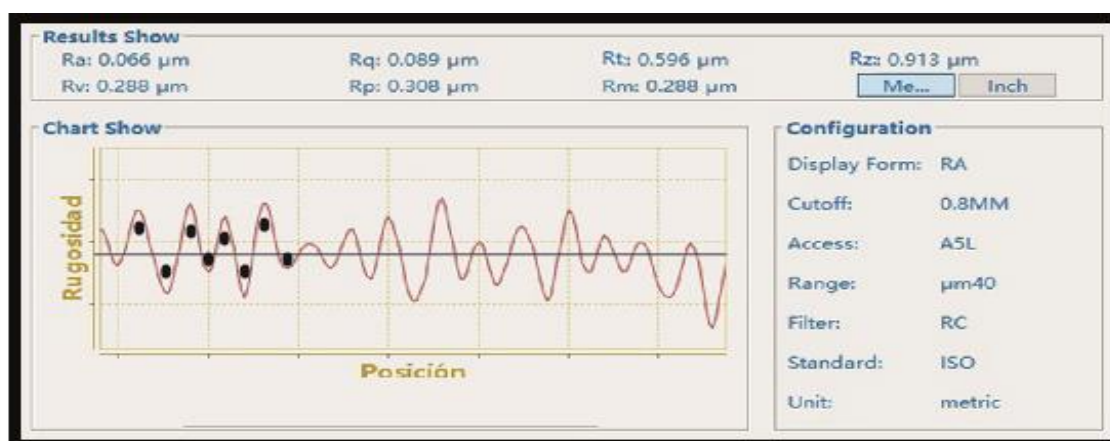


Figura 158. Rugosidad punta cónica de la aguja de Tobera inyector Bosch

En la figura 158, se puede analizar que el parámetro de rugosidad $Ra = 0.066$ micrómetros se obtienen por la media de todos los picos y valles de dicha medición; por lo cual se ha representado un segmento de puntos negros indicando los n picos y valles para el análisis de dicho parámetro.

Análisis Matemático

$$Ra = \frac{1}{Lm} \int_0^{Lm} |y| dx$$

Dónde:

$$Lm = 1.2 \text{ um}$$

$$|Y| = -\frac{X^2 - 2.4X + 0.79}{2.6}$$

Cálculo de Ra:

$$Ra = \frac{1}{Lm} \int_0^{Lm} -\frac{x^2 - 2.4x + 0.79}{2.6} dx$$

$$Ra = \frac{1}{Lm} * -\frac{1}{2.6} \int_0^{Lm} x^2 - 2.4x + 0.79 dx$$

$$Ra = \frac{1}{Lm} * -\frac{1}{2.6} \left[\int_0^{Lm} x^2 dx - \int_0^{Lm} 2.4x dx + \int_0^{Lm} 0.79 dx \right]$$

$$Ra = \frac{1}{1.2} * -\frac{1}{2.6} \left[\frac{x^3}{3} - \frac{2.4x^2}{2} + 0.79x \right]$$

$$Ra = \frac{1}{1.2} * -\frac{1}{2.6} \left[\frac{(1.2)^3}{3} - \frac{(2.4)(1.2)^2}{2} + (0.79)(1.2) \right]$$

$$Ra = -0.32051(0.576 - 1.728 + 0.948)$$

$$Ra = -0.1846 + 0.5538 - 0.3039$$

$$\mathbf{Ra = 0.0664 \mu m}$$

Cálculo de Rq:

$$Rq = \sqrt{\frac{1}{Lm} \int_0^{Lm} y^2 dx}$$

Dónde:

$$Lm = 1.2 \mu m$$

$$|Y| = -\frac{X^2 - 2.4X + 0.79}{2.6}$$

$$Rq = \sqrt{\frac{1}{Lm} \int_0^{Lm} \left(\frac{x^2 - 2.4x + 0.79}{2.6} \right)^2 dx}$$

$$Rq = \sqrt{\frac{1}{Lm} * \frac{1}{6.76} \int_0^{Lm} (x^2 - 2.4x + 0.79)^2 dx}$$

$$Rq = \sqrt{\frac{1}{Lm} * \frac{1}{6.76} \left[\frac{(x^2 - 2.4x + 0.79)^3}{3} \right]}$$

$$Rq = \sqrt{\frac{1}{1.2} * \frac{1}{6.76} * \frac{1}{3} [(1.2)^2 - (2.4)(1.2) + 0.79]^3}$$

$$\mathbf{Rq = 0.089 \mu m}$$

Mediante un cálculo integral se obtiene el parámetro Ra y Rq comprobando así el valor determinado por el rugosímetro en la figura 158.

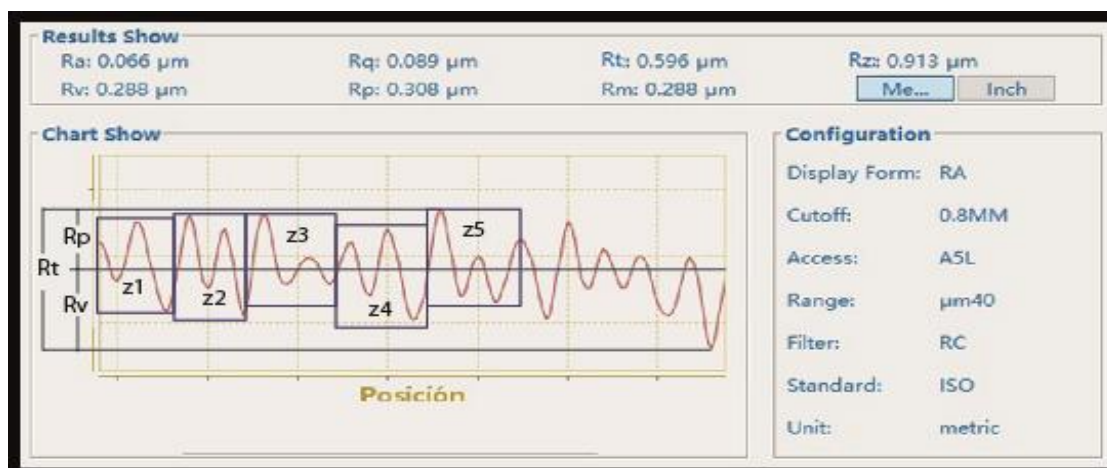


Figura 159. Rugosidad punta cónica de la aguja de Tobera inyector Bosch

En la figura 159, se puede analizar los parámetros de rugosidad Rp, Rv, Rt, y Rz; como se puede observar Rp va ser el pico más alto a partir de la línea media representado por color negro; Rv el valle más bajo a partir de la línea media representado por color negro; Rt la suma de Rp y Rv dando un valor de 0.596 micrómetros dato obtenido por el rugosímetro y representado en la parte superior de la interface; el parámetro Rz es un valor que representa un promedio de la rugosidad máxima obtenida por cinco tramos de medición consecutiva Z1, Z2, Z3, Z4, Y Z5, tal como se muestra en la figura; obteniendo así un valor dado de 0.913 micrómetros.

Cálculo de Rt:

$$Rt = Rp + Rv$$

Dónde:

Rp= Es el pico más alto desde la línea media Lm.

Rv= Es el valle más bajo desde la línea media Lm.

$$Rt = 0.308 + 0.288$$

$$Rt = 0.596 \text{ um}$$

Se determina el parámetro Rt por la sumatoria de Rp+Rv; comprobando así el valor obtenido por el rugosímetro en la figura 159.

Cálculo de Rz:

$$Rz = \frac{Z1 + Z2 + Z3 + Z4 + Z5}{5}$$

Dónde:

$$Z1=0.88\text{um}$$

$$Z2=0.9 \text{ um}$$

$$Z3=0.89 \text{ um}$$

$$Z4=0.77 \text{ um}$$

$$Z5=1.125 \text{ um}$$

$$Rz = \frac{0.88 + 0.9 + 0.89 + 0.77 + 1.125}{5}$$

$$Rz = 0.913 \text{ um}$$

Se determina el parámetro Rz con la media de cinco tramos consecutivos, comprobando así el valor obtenido por el rugosímetro en la figura 159.

b. Rugosidad del vástago de la aguja

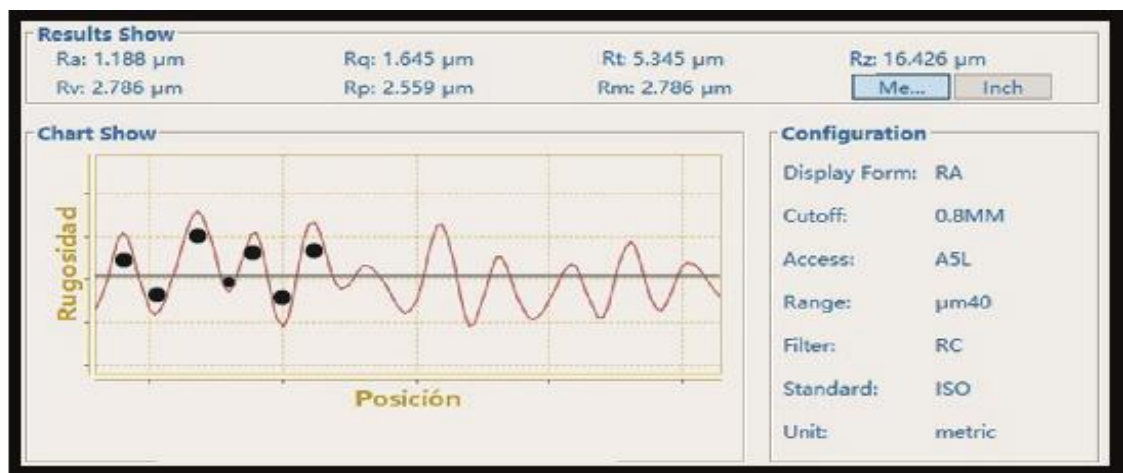


Figura 160. Rugosidad vástago de la aguja

En la figura 160, se puede analizar que el parámetro de rugosidad $Ra = 1.188$ micrómetros se obtienen por la media de todos los picos y valles de dicha medición; por lo cual se ha representado un segmento de puntos negros indicando los n picos y valles para el análisis de dicho parámetro.

Análisis Matemático

$$Ra = \frac{1}{Lm} \int_0^{Lm} |y| dx$$

Dónde:

$$Lm = 2.2 \text{ um}$$

$$|Y| = -\frac{X^2 - 3X + 0.3}{1.2}$$

Cálculo de Ra:

$$Ra = \frac{1}{Lm} \int_0^{Lm} -\frac{x^2 - 3x + 0.3}{1.2} dx$$

$$Ra = \frac{1}{Lm} * -\frac{1}{1.2} \int_0^{Lm} x^2 - 3x + 0.3 dx$$

$$Ra = \frac{1}{Lm} * -\frac{1}{1.2} \left[\int_0^{Lm} x^2 dx - \int_0^{Lm} 3x dx + \int_0^{Lm} 0.3 dx \right]$$

$$Ra = \frac{1}{2.2} * -\frac{1}{1.2} \left[\frac{x^3}{3} - \frac{3x^2}{2} + 0.3x \right]$$

$$Ra = \frac{1}{2.2} * -\frac{1}{1.2} \left[\frac{(2.2)^3}{3} - \frac{(3)(2.2)^2}{2} + (0.3)(2.2) \right]$$

$$Ra = -0.378(3.549 - 7.26 + 0.66)$$

$$Ra = -1.344 + 2.782 - 0.25$$

$$\mathbf{Ra = 1.188 \text{ um}}$$

Cálculo de Rq:

$$Rq = \sqrt{\frac{1}{Lm} \int_0^{Lm} y^2 dx}$$

Dónde:

$$Lm = 2.2 \text{ um}$$

$$|Y| = -\frac{X^2 - 3X + 0.3}{1.2}$$

$$Rq = \sqrt{\frac{1}{Lm} \int_0^{Lm} \left(\frac{x^2 - 3x + 0.3}{1.2} \right)^2 dx}$$

$$Rq = \sqrt{\frac{1}{Lm} * \frac{1}{1.44} \int_0^{Lm} (x^2 - 3x + 0.3)^2 dx}$$

$$Rq = \sqrt{\frac{1}{Lm} * \frac{1}{1.44} \left[\frac{(x^2 - 3x + 0.3)^3}{3} \right]}$$

$$Rq = \sqrt{\frac{1}{2.2} * \frac{1}{1.44} * \frac{1}{3} [(2.2)^2 - (3)(2.2) + 0.3]^3}$$

$$\mathbf{Rq = 1.645 \text{ um}}$$

Mediante un cálculo integral se obtiene el parámetro Ra y Rq comprobando así el valor determinado por el rugosímetro en la figura 160.

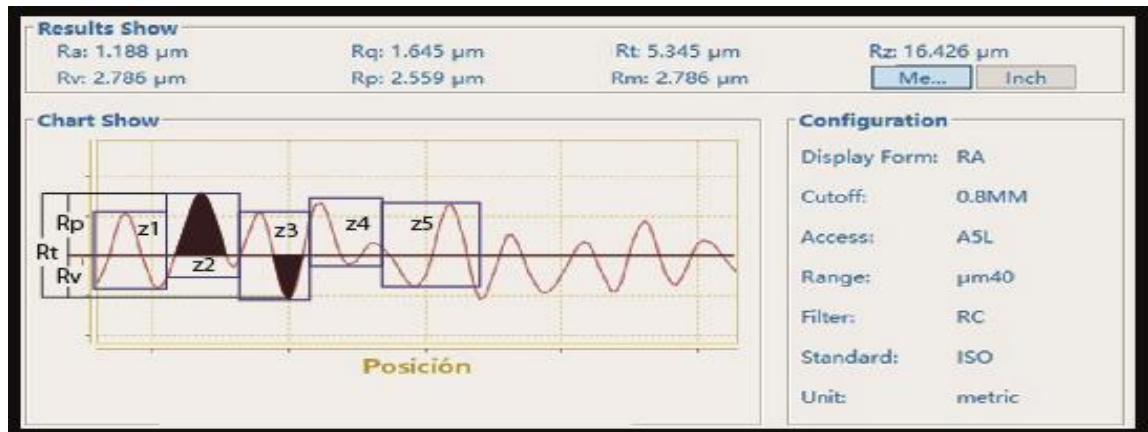


Figura 161. Rugosidad vástago de la aguja de Tobera inyector Bosch

En la figura 161, se puede analizar los parámetros de rugosidad Rp, Rv, Rt, y Rz; como se puede observar Rp va ser el pico más alto a partir de la línea media representado por color negro; Rv el valle más bajo a partir de la línea media representado por color negro; Rt la suma de Rp y Rv dando un valor de 5.345 micrómetros dato obtenido por el rugosímetro y representado en la parte superior de la interface; el parámetro Rz es un valor que representa un promedio de la rugosidad máxima obtenida por cinco tramos de medición consecutiva Z1, Z2, Z3, Z4, Y Z5, tal como se muestra en la figura; obteniendo así un valor dado de 16.426 micrómetros.

Cálculo de Rt:

$$Rt = Rp + Rv$$

Dónde:

Rp= Es el pico más alto desde la línea media Lm.

Rv= Es el valle más bajo desde la línea media Lm.

$$Rt = 2.559 + 2.786$$

$$Rt = 5.345 \text{ um}$$

Se determina el parámetro Rt por la sumatoria de Rp+Rv; comprobando así el valor obtenido por el rugosímetro en la figura 161.

Cálculo de Rz:

$$Rz = \frac{Z1 + Z2 + Z3 + Z4 + Z5}{5}$$

Dónde:

$$Z1=16.3\text{um}$$

$$Z2=15.89 \text{ um}$$

$$Z3=16.44 \text{ um}$$

$$Z4=17.2 \text{ um}$$

$$Z5=16.3 \text{ um}$$

$$Rz = \frac{16.3 + 15.89 + 16.44 + 17.2 + 16.3}{5}$$

$$Rz = 16.426 \text{ um}$$

Se determina el parámetro Rz con la media de cinco tramos consecutivos, comprobando así el valor obtenido por el rugosímetro en la figura 161.

3.8.4 Rugosidad de la aguja de la tobera USADA del inyector Bosch (Mazda Bt-50 2.5)

a. Rugosidad del cono de la aguja



Figura 162. Rugosidad punta cónica de la aguja de Tobera inyector Bosch

En la figura 162, se puede analizar que el parámetro de rugosidad $Ra = 0.071$ micrómetros se obtienen por la media de todos los picos y valles de dicha medición; por lo cual se ha representado un segmento de puntos negros indicando los n picos y valles para el análisis de dicho parámetro.

Análisis Matemático

$$Ra = \frac{1}{Lm} \int_0^{Lm} |y| dx$$

Dónde:

$$Lm = 1.3 \text{ um}$$

$$|Y| = -\frac{X^2 - 1.9X + 0.471}{2.8}$$

Cálculo de Ra:

$$Ra = \frac{1}{Lm} \int_0^{Lm} -\frac{x^2 - 1.9x + 0.471}{2.8} dx$$

$$Ra = \frac{1}{Lm} * -\frac{1}{2.8} \int_0^{Lm} x^2 - 1.9x + 0.471 dx$$

$$Ra = \frac{1}{Lm} * -\frac{1}{2.8} \left[\int_0^{Lm} x^2 dx - \int_0^{Lm} 1.9x dx + \int_0^{Lm} 0.471 dx \right]$$

$$Ra = \frac{1}{1.3} * -\frac{1}{2.8} \left[\frac{x^3}{3} - \frac{1.9x^2}{2} + 0.471x \right]$$

$$Ra = \frac{1}{1.3} * -\frac{1}{2.8} \left[\frac{(1.3)^3}{3} - \frac{(1.9)(1.3)^2}{2} + (0.471)(1.3) \right]$$

$$Ra = -0.2747(0.7323 - 1.6055 + 0.6123)$$

$$Ra = -0.20119 + 0.44107 - 0.16821$$

$$\mathbf{Ra = 0.071 \text{ um}}$$

Cálculo de Rq:

$$Rq = \sqrt{\frac{1}{Lm} \int_0^{Lm} y^2 dx}$$

Dónde:

$$Lm = 1.3 \text{ um}$$

$$|Y| = -\frac{X^2 - 1.9X + 0.471}{2.8}$$

$$Rq = \sqrt{\frac{1}{Lm} \int_0^{Lm} \left(\frac{x^2 - 1.9x + 0.471}{2.8} \right)^2 dx}$$

$$Rq = \sqrt{\frac{1}{Lm} * \frac{1}{7.84} \int_0^{Lm} (x^2 - 1.9x + 0.471)^2 dx}$$

$$Rq = \sqrt{\frac{1}{Lm} * \frac{1}{7.84} \left[\frac{(x^2 - 1.9x + 0.471)^3}{3} \right]}$$

$$Rq = \sqrt{\frac{1}{1.3} * \frac{1}{7.84} * \frac{1}{3} [(1.3)^2 - (1.9)(1.3) + 0.471]^3}$$

$$\mathbf{Rq = 0.095 \text{ um}}$$

Mediante un cálculo integral se obtiene el parámetro Ra y Rq comprobando así el valor determinado por el rugosímetro en la figura 162.

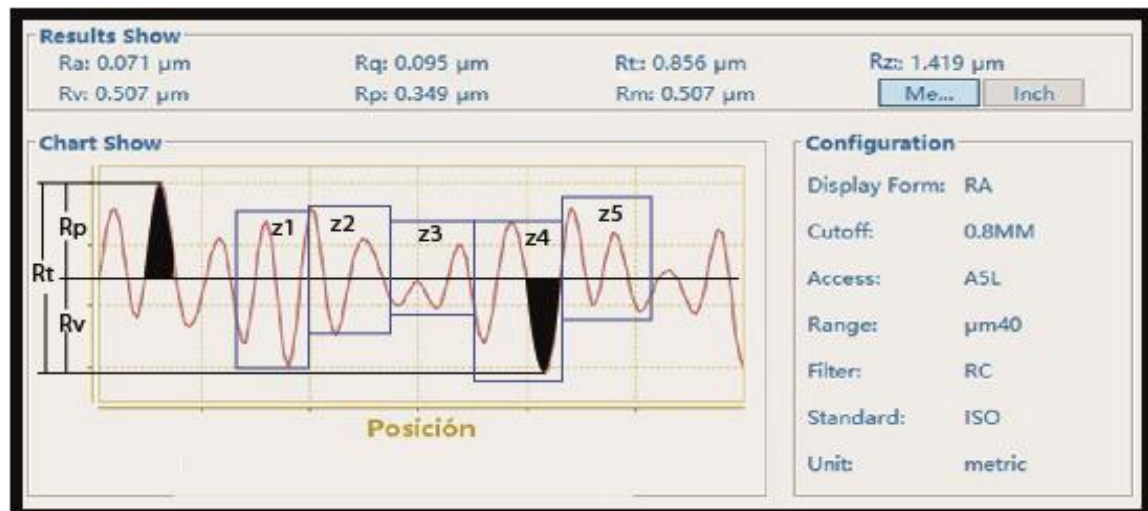


Figura 163. Rugosidad punta cónica de la aguja de Tobera inyector Bosch

En la figura 163, se puede analizar los parámetros de rugosidad R_p , R_v , R_t , y R_z ; como se puede observar R_p va ser el pico más alto a partir de la línea media representado por color negro; R_v el valle más bajo a partir de la línea media representado por color negro; R_t la suma de R_p y R_v dando un valor de 0.856 micrómetros dato obtenido por el rugosímetro y representado en la parte superior de la interface; el parámetro R_z es un valor que representa un promedio de la rugosidad máxima obtenida por cinco tramos de medición consecutiva Z_1 , Z_2 , Z_3 , Z_4 , Y Z_5 , tal como se muestra en la figura; obteniendo así un valor dado de 1.419 micrómetros.

Cálculo de R_t :

$$R_t = R_p + R_v$$

Dónde:

R_p = Es el pico más alto desde la línea media L_m .

R_v = Es el valle más bajo desde la línea media L_m .

$$R_t = 0.349 + 0.507$$

$$R_t = 0.856 \text{ um}$$

Se determina el parámetro R_t por la sumatoria de R_p+R_v ; comprobando así el valor obtenido por el rugosímetro en la figura 163.

Cálculo de R_z :

$$R_z = \frac{Z_1 + Z_2 + Z_3 + Z_4 + Z_5}{5}$$

Dónde:

$$Z1=1,2\mu\text{m}$$

$$Z2=1,3\ \mu\text{m}$$

$$Z3=2,115\ \mu\text{m}$$

$$Z4=0,98\ \mu\text{m}$$

$$Z5=1,5\ \mu\text{m}$$

$$R_z = \frac{1,2 + 1,3 + 2,115 + 0,98 + 1,5}{5}$$

$$R_z = 1,419\ \mu\text{m}$$

Se determina el parámetro R_z con la media de cinco tramos consecutivos, comprobando así el valor obtenido por el rugosímetro en la figura 163.

b. Rugosidad del vástago de la aguja

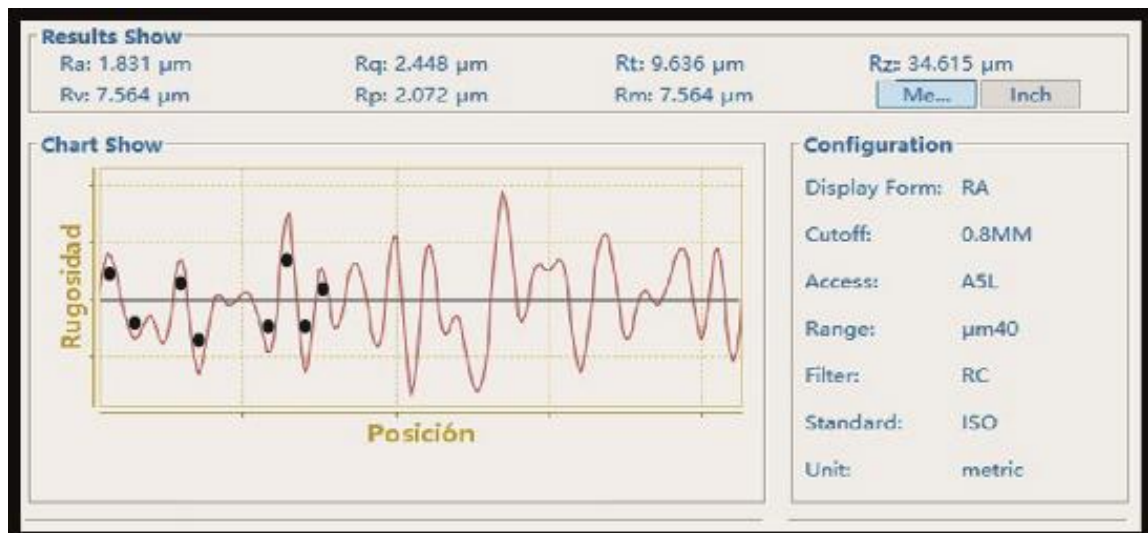


Figura 164. Rugosidad vástago de la aguja de Tobera inyector Bosch

En la figura 164, se puede analizar que el parámetro de rugosidad $R_a = 1.831$ micrómetros se obtienen por la media de todos los picos y valles de dicha medición; por lo cual se ha representado un segmento de puntos negros indicando los n picos y valles para el análisis de dicho parámetro.

Análisis Matemático

$$R_a = \frac{1}{L_m} \int_0^{L_m} |y| dx$$

Dónde:

$$L_m = 1.2\ \mu\text{m}$$

$$|Y| = -\frac{X^2 - 6.21X + 0.5}{1.5}$$

Cálculo de Ra:

$$Ra = \frac{1}{Lm} \int_0^{Lm} -\frac{x^2 - 6.21x + 0.5}{1.5} dx$$

$$Ra = \frac{1}{Lm} * -\frac{1}{1.5} \int_0^{Lm} x^2 - 6.21x + 0.5 dx$$

$$Ra = \frac{1}{Lm} * -\frac{1}{1.5} \left[\int_0^{Lm} x^2 dx - \int_0^{Lm} 6.21x dx + \int_0^{Lm} 0.5 dx \right]$$

$$Ra = \frac{1}{1.2} * -\frac{1}{1.5} \left[\frac{x^3}{3} - \frac{6.21x^2}{2} + 0.5x \right]$$

$$Ra = \frac{1}{1.2} * -\frac{1}{1.5} \left[\frac{(1.2)^3}{3} - \frac{(6.21)(1.2)^2}{2} + (0.5)(1.2) \right]$$

$$Ra = -0.555(0.576 - 4.4712 + 0.6)$$

$$Ra = -0.32 + 2.484 - 0.333$$

$$\mathbf{Ra = 1.831 \text{ um}}$$

Cálculo de Rq:

$$Rq = \sqrt{\frac{1}{Lm} \int_0^{Lm} y^2 dx}$$

Dónde:

$$Lm = 1.2 \text{ um}$$

$$|Y| = -\frac{X^2 - 6.21X + 0.5}{1.5}$$

$$Rq = \sqrt{\frac{1}{Lm} \int_0^{Lm} \left(\frac{x^2 - 6.21x + 0.5}{1.5} \right)^2 dx}$$

$$Rq = \sqrt{\frac{1}{Lm} * \frac{1}{2.25} \int_0^{Lm} (x^2 - 6.21x + 0.5)^2 dx}$$

$$Rq = \sqrt{\frac{1}{Lm} * \frac{1}{2.25} \left[\frac{(x^2 - 6.21x + 0.5)^3}{3} \right]}$$

$$Rq = \sqrt{\frac{1}{1.2} * \frac{1}{2.25} * \frac{1}{3} [(1.2)^2 - (6.21)(1.2) + 0.5]^3}$$

$$\mathbf{Rq = 2.448 \text{ um}}$$

Mediante un cálculo integral se obtiene el parámetro Ra y Rq comprobando así el valor determinado por el rugosímetro en la figura 164.

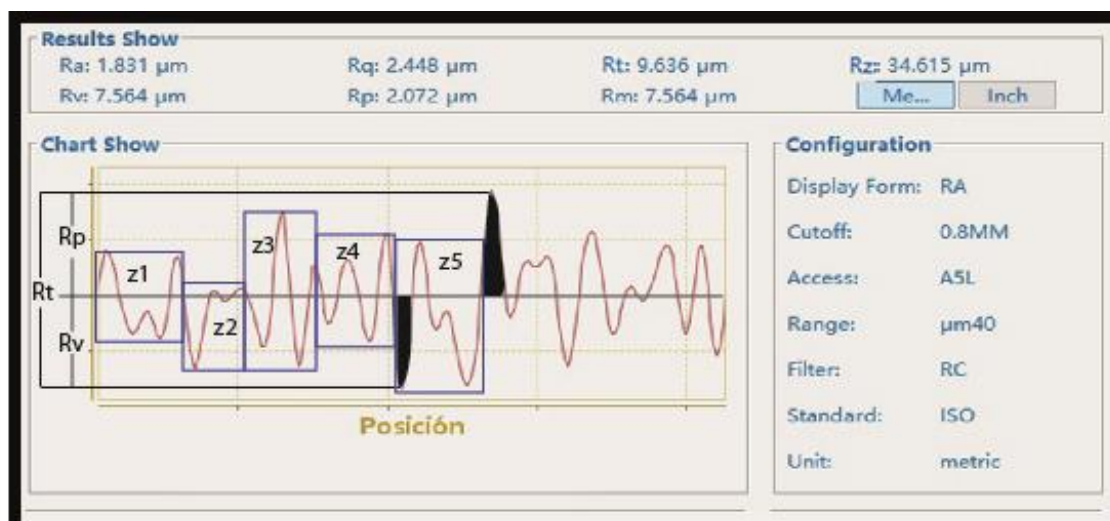


Figura 165. Rugosidad vástago de la aguja de Tobera inyector Bosch

En la figura 165, se puede analizar los parámetros de rugosidad Rp, Rv, Rt, y Rz; como se puede observar Rp va ser el pico más alto a partir de la línea media representado por color negro; Rv el valle más bajo a partir de la línea media representado por color negro; Rt la suma de Rp y Rv dando un valor de 9.636 micrómetros dato obtenido por el rugosímetro y representado en la parte superior de la interface; el parámetro Rz es un valor que representa un promedio de la rugosidad máxima obtenida por cinco tramos de medición consecutiva Z1, Z2, Z3, Z4, Y Z5, tal como se muestra en la figura; obteniendo así un valor dado de 34.615 micrómetros.

Cálculo de Rt:

$$Rt = Rp + Rv$$

Dónde:

Rp= Es el pico más alto desde la línea media Lm.

Rv= Es el valle más bajo desde la línea media Lm.

$$Rt = 2.072 + 7.564$$

$$Rt = 9.636 \mu\text{m}$$

Se determina el parámetro Rt por la sumatoria de Rp+Rv; comprobando así el valor obtenido por el rugosímetro en la figura 165.

Cálculo de Rz:

$$Rz = \frac{Z1 + Z2 + Z3 + Z4 + Z5}{5}$$

Dónde:

$$Z1=25,7\mu\text{m}$$

$$Z2=25,9 \mu\text{m}$$

$$Z3=50,5 \mu\text{m}$$

$$Z4=10,875 \mu\text{m}$$

$$Z5=60,1 \mu\text{m}$$

$$Rz = \frac{25,7 + 25,9 + 50,5 + 10,875 + 60,1}{5}$$

$$Rz = 34,615 \mu\text{m}$$

Se determina el parámetro Rz con la media de cinco tramos consecutivos, comprobando así el valor obtenido por el rugosímetro en la figura 165.

3.8.5 Rugosidad de la aguja de la tobera NUEVA del inyector Denso (Toyota Hilux 3.0)

a. Rugosidad del cono de la aguja

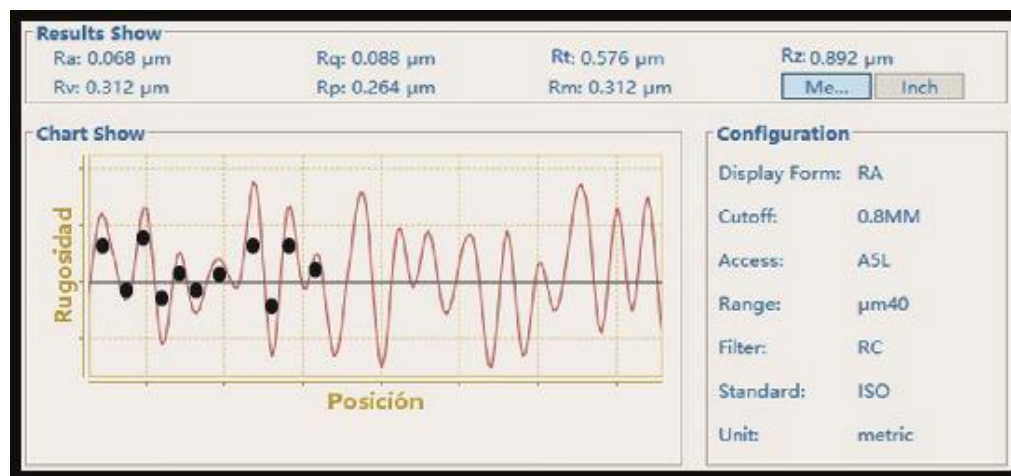


Figura 166. Rugosidad punta cónica de la aguja de Tobera inyector Denso

En la figura 166, se puede analizar que el parámetro de rugosidad $Ra = 0.068$ micrómetros se obtienen por la media de todos los picos y valles de dicha medición; por lo cual se ha representado un segmento de puntos negros indicando los n picos y valles para el análisis de dicho parámetro.

Análisis Matemático

$$R_a = \frac{1}{L_m} \int_0^{L_m} |y| dx$$

Dónde:

$$L_m = 1.3 \text{ um}$$

$$|Y| = -\frac{X^2 - 1.9X + 0.48}{2.8}$$

Cálculo de Ra:

$$R_a = \frac{1}{L_m} \int_0^{L_m} -\frac{x^2 - 1.9x + 0.48}{2.8} dx$$

$$R_a = \frac{1}{L_m} * -\frac{1}{2.8} \int_0^{L_m} x^2 - 1.9x + 0.48 dx$$

$$R_a = \frac{1}{L_m} * -\frac{1}{2.8} \left[\int_0^{L_m} x^2 dx - \int_0^{L_m} 1.9x dx + \int_0^{L_m} 0.48 dx \right]$$

$$R_a = \frac{1}{1.3} * -\frac{1}{2.8} \left[\frac{x^3}{3} - \frac{1.9x^2}{2} + 0.48x \right]$$

$$R_a = \frac{1}{1.3} * -\frac{1}{2.8} \left[\frac{(1.3)^3}{3} - \frac{(1.9)(1.3)^2}{2} + (0.48)(1.3) \right]$$

$$R_a = -0.2747(0.7323 - 1.6055 + 0.624)$$

$$R_a = -0.2011 + 0.4410 - 0.1714$$

$$R_a = \mathbf{0.0684 \text{ um}}$$

Cálculo de Rq:

$$R_q = \sqrt{\frac{1}{L_m} \int_0^{L_m} y^2 dx}$$

Dónde:

$$L_m = 1.3 \text{ um}$$

$$|Y| = -\frac{X^2 - 1.9X + 0.48}{2.8}$$

$$R_q = \sqrt{\frac{1}{L_m} \int_0^{L_m} \left(\frac{x^2 - 1.9x + 0.48}{2.8} \right)^2 dx}$$

$$Rq = \sqrt{\frac{1}{Lm} * \frac{1}{7.84} \int_0^{Lm} (x^2 - 1.9x + 0.48)^2 dx}$$

$$Rq = \sqrt{\frac{1}{Lm} * \frac{1}{7.84} \left[\frac{(x^2 - 1.9x + 0.48)^3}{3} \right]}$$

$$Rq = \sqrt{\frac{1}{1.3} * \frac{1}{7.84} * \frac{1}{3} [(1.3)^2 - (1.9)(1.3) + 0.48]^3}$$

$$Rq = 0.088 \text{ um}$$

Mediante un cálculo integral se obtiene el parámetro Ra y Rq comprobando así el valor determinado por el rugosímetro en la figura 166.

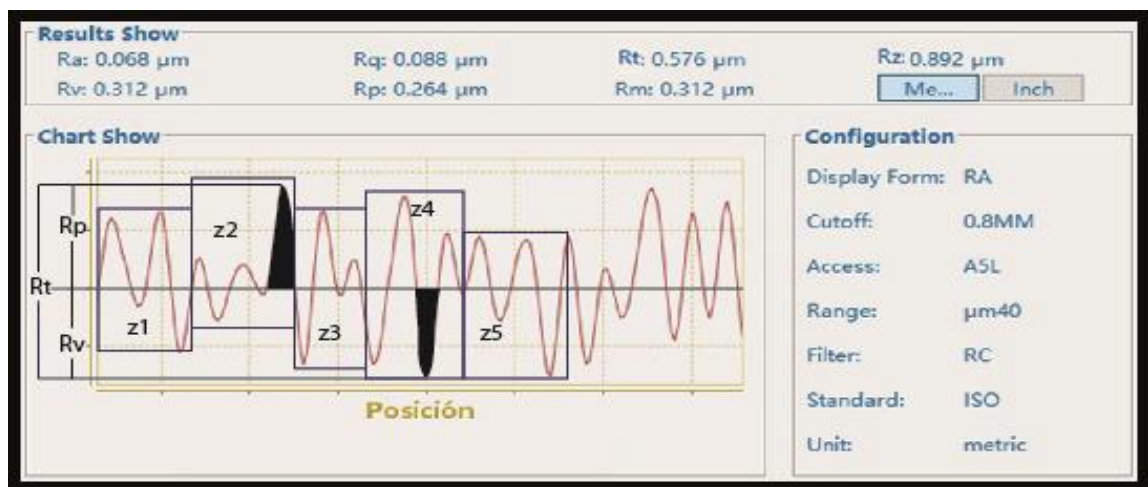


Figura 167. Rugosidad punta cónica de la aguja de Tobera inyector Denso

En la figura 167, se puede analizar los parámetros de rugosidad Rp, Rv, Rt, y Rz; como se puede observar Rp va ser el pico más alto a partir de la línea media representado por color negro; Rv el valle más bajo a partir de la línea media representado por color negro; Rt la suma de Rp y Rv dando un valor de 0.576 micrómetros dato obtenido por el rugosímetro y representado en la parte superior de la interface; el parámetro Rz es un valor que representa un promedio de la rugosidad máxima obtenida por cinco tramos de medición consecutiva Z1, Z2, Z3, Z4, Y Z5, tal como se muestra en la figura; obteniendo así un valor dado de 0.892 micrómetros.

Cálculo de Rt:

$$Rt = Rp + Rv$$

Dónde:

Rp= Es el pico más alto desde la línea media Lm.

Rv= Es el valle más bajo desde la línea media Lm.

$$R_t = 0.264 + 0.312$$

$$R_t = 0.576 \text{ um}$$

Se determina el parámetro R_t por la sumatoria de R_p+R_v ; comprobando así el valor obtenido por el rugosímetro en la figura 167.

Cálculo de R_z :

$$R_z = \frac{Z_1 + Z_2 + Z_3 + Z_4 + Z_5}{5}$$

Dónde:

$$Z_1=0.53\text{um}$$

$$Z_2=0.73 \text{ um}$$

$$Z_3=0.89 \text{ um}$$

$$Z_4=1.1 \text{ um}$$

$$Z_5=1.21 \text{ um}$$

$$R_z = \frac{0.53 + 0.73 + 0.89 + 1.1 + 1.21}{5}$$

$$R_z = 0.892 \text{ um}$$

Se determina el parámetro R_z con la media de cinco tramos consecutivos, comprobando así el valor obtenido por el rugosímetro en la figura 167.

b. Rugosidad del vástago de la aguja



Figura 168. Rugosidad vástago de la aguja de Tobera inyector Denso

En la figura 168, se puede analizar que el parámetro de rugosidad $R_a = 0.093$ micrómetros se obtienen por la media de todos los picos y valles de dicha medición; por lo cual se ha representado un segmento de puntos negros indicando los n picos y valles para el análisis de dicho parámetro.

Análisis Matemático

$$Ra = \frac{1}{Lm} \int_0^{Lm} |y| dx$$

Dónde:

$$Lm = 1.5 \text{ um}$$

$$|Y| = -\frac{X^2 - 1.9X + 0.405}{2.9}$$

Cálculo de Ra:

$$Ra = \frac{1}{Lm} \int_0^{Lm} -\frac{x^2 - 1.9x + 0.405}{2.9} dx$$

$$Ra = \frac{1}{Lm} * -\frac{1}{2.9} \int_0^{Lm} x^2 - 1.9x + 0.405 dx$$

$$Ra = \frac{1}{Lm} * -\frac{1}{2.9} \left[\int_0^{Lm} x^2 dx - \int_0^{Lm} 1.9x dx + \int_0^{Lm} 0.405 dx \right]$$

$$Ra = \frac{1}{1.5} * -\frac{1}{2.9} \left[\frac{x^3}{3} - \frac{1.9x^2}{2} + 0.405 dx \right]$$

$$Ra = \frac{1}{1.5} * -\frac{1}{2.9} \left[\frac{(1.5)^3}{3} - \frac{(1.9)(1.5)^2}{2} + (0.405)(1.5) \right]$$

$$Ra = -0.2298(1.125 - 2.1375 + 0.6075)$$

$$Ra = -0.2586 + 0.4913 - 0.1396$$

$$Ra = 0.0931 \text{ um}$$

Cálculo de Rq:

$$Rq = \sqrt{\frac{1}{Lm} \int_0^{Lm} y^2 dx}$$

Dónde:

$$Lm = 1.5 \text{ um}$$

$$|Y| = -\frac{X^2 - 1.9X + 0.405}{2.9}$$

$$Rq = \sqrt{\frac{1}{Lm} \int_0^{Lm} \left(\frac{x^2 - 1.9x + 0.405}{2.9} \right)^2 dx}$$

$$Rq = \sqrt{\frac{1}{Lm} * \frac{1}{8.41} \int_0^{Lm} (x^2 - 1.9x + 0.405)^2 dx}$$

$$Rq = \sqrt{\frac{1}{Lm} * \frac{1}{8.41} \left[\frac{(x^2 - 1.9x + 0.405)^3}{3} \right]}$$

$$Rq = \sqrt{\frac{1}{1.5} * \frac{1}{8.41} * \frac{1}{3} [(1.5)^2 - (1.9)(1.5) + 0.405]^3}$$

$$Rq = 0.121 \mu m$$

Mediante un cálculo integral se obtiene el parámetro Ra y Rq comprobando así el valor determinado por el rugosímetro en la figura 168.

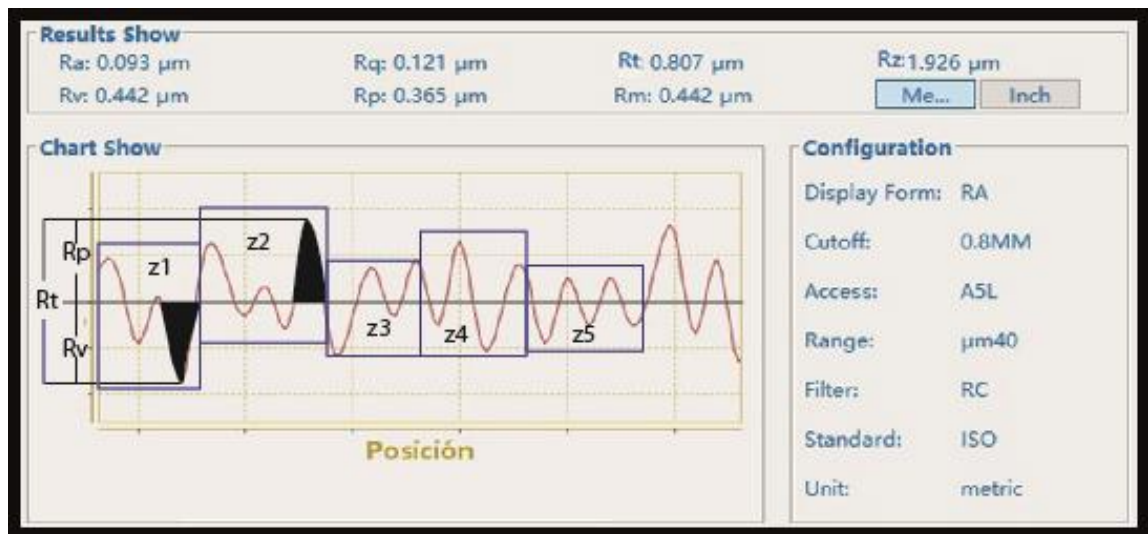


Figura 169. Rugosidad vástago de la aguja de Tobera inyector Denso

En la figura 169, se puede analizar los parámetros de rugosidad Rp, Rv, Rt, y Rz; como se puede observar Rp va ser el pico más alto a partir de la línea media representado por color negro; Rv el valle más bajo a partir de la línea media representado por color negro; Rt la suma de Rp y Rv dando un valor de 0.807 micrómetros dato obtenido por el rugosímetro y representado en la parte superior de la interface; el parámetro Rz es un valor que representa un promedio de la rugosidad máxima obtenida por cinco tramos de medición consecutiva Z1, Z2, Z3, Z4, Y Z5, tal como se muestra en la figura; obteniendo así un valor dado de 1.926 micrómetros.

Cálculo de Rt:

$$Rt = Rp + Rv$$

Dónde:

Rp= Es el pico más alto desde la línea media Lm.

Rv= Es el valle más bajo desde la línea media Lm.

$$Rt = 0.365 + 0.442$$

Rt = 0.807 um

Se determina el parámetro Rt por la sumatoria de Rp+Rv; comprobando así el valor obtenido por el rugosímetro en la figura 169.

Cálculo de Rz:

$$Rz = \frac{Z1 + Z2 + Z3 + Z4 + Z5}{5}$$

Dónde:

Z1=1.8 um

Z2=2.47 um

Z3=1.66 um

Z4=1.5 um

Z5=2.2 um

$$Rz = \frac{1.8 + 2.47 + 1.66 + 1.5 + 2.2}{5}$$

Rz = 1.926um

Se determina el parámetro Rz con la media de cinco tramos consecutivos, comprobando así el valor obtenido por el rugosímetro en la figura 169.

3.8.6 Rugosidad de la aguja de la tobera USADA del inyector Denso (Toyota Hilux 3.0)

a. Rugosidad del cono de la aguja



Figura 170. Rugosidad punta cónica de la aguja de Tobera inyector Denso

En la figura 170, se puede analizar que el parámetro de rugosidad Ra = 0.086 micrómetros se obtienen por la media de todos los picos y valles de dicha medición;

por lo cual se ha representado un segmento de puntos negros indicando los **n** picos y valles para el análisis de dicho parámetro.

Análisis Matemático

$$Ra = \frac{1}{Lm} \int_0^{Lm} |y| dx$$

Dónde:

$$Lm = 1.2 \text{ um}$$

$$|Y| = -\frac{X^2 - 1.9X + 0.409}{2.9}$$

Cálculo de Ra:

$$Ra = \frac{1}{Lm} \int_0^{Lm} -\frac{x^2 - 1.9x + 0.409}{2.9} dx$$

$$Ra = \frac{1}{Lm} * -\frac{1}{2.9} \int_0^{Lm} x^2 - 1.9x + 0.409 dx$$

$$Ra = \frac{1}{Lm} * -\frac{1}{2.9} \left[\int_0^{Lm} x^2 dx - \int_0^{Lm} 1.9x dx + \int_0^{Lm} 0.409 dx \right]$$

$$Ra = \frac{1}{1.2} * -\frac{1}{2.9} \left[\frac{x^3}{3} - \frac{1.9x^2}{2} + 0.409 dx \right]$$

$$Ra = \frac{1}{1.2} * -\frac{1}{2.9} \left[\frac{(1.2)^3}{3} - \frac{(1.9)(1.2)^2}{2} + (0.409)(1.2) \right]$$

$$Ra = -0.2873(0.576 - 1.368 + 0.4908)$$

$$Ra = -0.1655 + 0.3931 - 0.1410$$

$$Ra = 0.086 \text{ um}$$

Cálculo de Rq:

$$Rq = \sqrt{\frac{1}{Lm} \int_0^{Lm} y^2 dx}$$

Dónde:

$$Lm = 1.2 \text{ um}$$

$$|Y| = -\frac{X^2 - 1.9X + 0.405}{2.9}$$

$$Rq = \sqrt{\frac{1}{Lm} \int_0^{Lm} \left(\frac{x^2 - 1.9x + 0.409}{2.9} \right)^2 dx}$$

$$Rq = \sqrt{\frac{1}{L_m} * \frac{1}{8.41} \int_0^{L_m} (x^2 - 1.9x + 0.409)^2 dx}$$

$$Rq = \sqrt{\frac{1}{L_m} * \frac{1}{8.41} \left[\frac{(x^2 - 1.9x + 0.409)^3}{3} \right]}$$

$$Rq = \sqrt{\frac{1}{1.2} * \frac{1}{8.41} * \frac{1}{3} [(1.2)^2 - (1.9)(1.2) + 0.409]^3}$$

$$Rq = 0.112 \text{ um}$$

Mediante un cálculo integral se obtiene el parámetro Ra y Rq comprobando así el valor determinado por el rugosímetro en la figura 170.

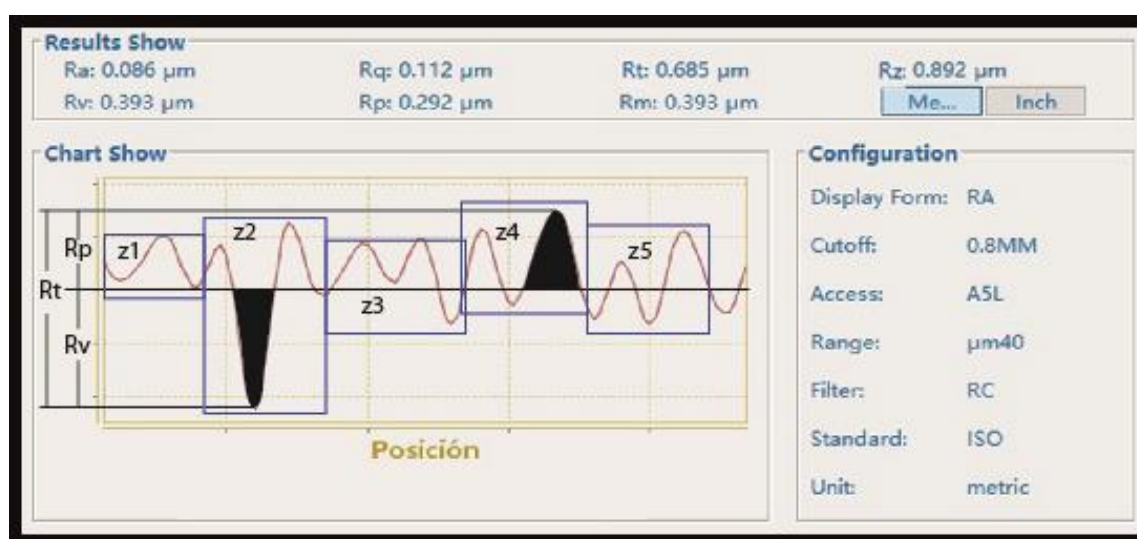


Figura 171. Rugosidad punta cónica de la aguja de Tobera inyector Denso

En la figura 171, se puede analizar los parámetros de rugosidad Rp, Rv, Rt, y Rz; como se puede observar Rp va ser el pico más alto a partir de la línea media representado por color negro; Rv el valle más bajo a partir de la línea media representado por color negro; Rt la suma de Rp y Rv dando un valor de 0.685 micrómetros dato obtenido por el rugosímetro y representado en la parte superior de la interface; el parámetro Rz es un valor que representa un promedio de la rugosidad máxima obtenida por cinco tramos de medición consecutiva Z1, Z2, Z3, Z4, Y Z5, tal como se muestra en la figura; obteniendo así un valor dado de 0.892 micrómetros.

Cálculo de Rt:

$$Rt = Rp + Rv$$

Dónde:

Rp= Es el pico más alto desde la línea media Lm.

Rv= Es el valle más bajo desde la línea media Lm.

$$R_t = 0.292 + 0.393$$

$$R_t = 0.685 \text{ um}$$

Se determina el parámetro Rt por la sumatoria de Rp+Rv; comprobando así el valor obtenido por el rugosímetro en la figura 171.

Cálculo de Rz:

$$R_z = \frac{Z_1 + Z_2 + Z_3 + Z_4 + Z_5}{5}$$

Dónde:

$$Z_1=0,77 \text{ um}$$

$$Z_2=0,68 \text{ um}$$

$$Z_3=0,8 \text{ um}$$

$$Z_4=1,2 \text{ um}$$

$$Z_5=1,01 \text{ um}$$

$$R_z = \frac{0.77 + 0.68 + 0.8 + 1.2 + 1.01}{5}$$

$$R_z = 0.892 \text{ um}$$

Se determina el parámetro Rz con la media de cinco tramos consecutivos, comprobando así el valor obtenido por el rugosímetro en la figura 171.

b. Rugosidad del vástago de la aguja

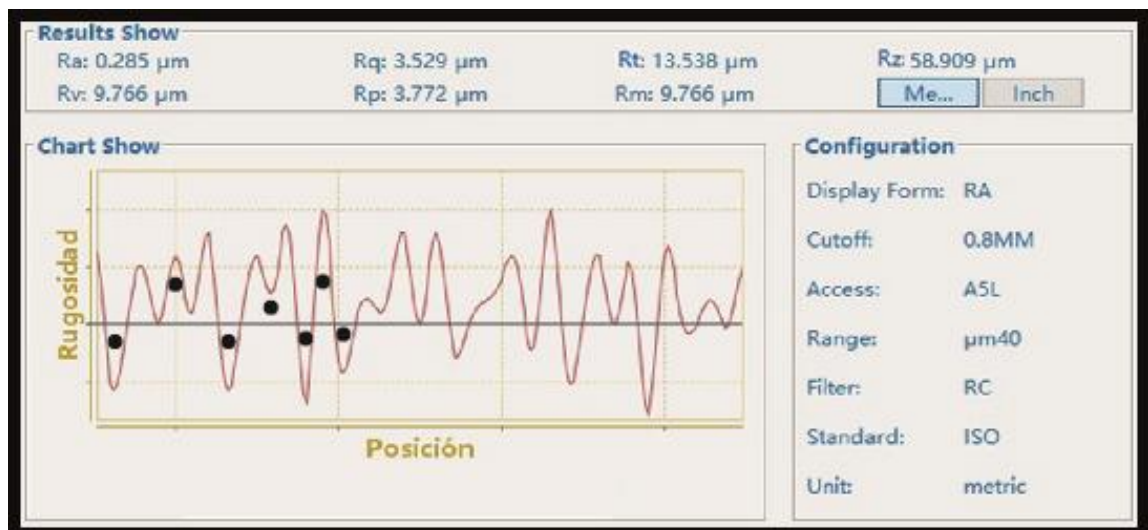


Figura 172. Rugosidad vástago de la aguja de Tobera inyector Denso

En la figura 172, se puede analizar que el parámetro de rugosidad $Ra = 0.285$ micrómetros se obtienen por la media de todos los picos y valles de dicha medición; por lo cual se ha representado un segmento de puntos negros indicando los n picos y valles para el análisis de dicho parámetro.

Análisis Matemático

$$Ra = \frac{1}{Lm} \int_0^{Lm} |y| dx$$

Dónde:

$$Lm = 1.9 \text{ um}$$

$$|Y| = -\frac{X^2 - 2.9X + 0.725}{2.9}$$

Cálculo de Ra:

$$Ra = \frac{1}{Lm} \int_0^{Lm} -\frac{x^2 - 2.9x + 0.725}{2.9} dx$$

$$Ra = \frac{1}{Lm} * -\frac{1}{2.9} \int_0^{Lm} x^2 - 2.9x + 0.725 dx$$

$$Ra = \frac{1}{Lm} * -\frac{1}{2.9} \left[\int_0^{Lm} x^2 dx - \int_0^{Lm} 2.9x dx + \int_0^{Lm} 0.725 dx \right]$$

$$Ra = \frac{1}{1.9} * -\frac{1}{2.9} \left[\frac{x^3}{3} - \frac{2.9x^2}{2} + 0.725 dx \right]$$

$$Ra = \frac{1}{1.9} * -\frac{1}{2.9} \left[\frac{(1.9)^3}{3} - \frac{(2.9)(1.9)^2}{2} + (0.725)(1.9) \right]$$

$$Ra = -0.1814(2.2863 - 5.2345 + 1.3775)$$

$$Ra = -0.4149 + 0.95 - 0.25$$

$$Ra = 0.285 \text{ um}$$

Cálculo de Rq:

$$Rq = \sqrt{\frac{1}{Lm} \int_0^{Lm} y^2 dx}$$

Dónde:

$$Lm = 1.9 \text{ um}$$

$$|Y| = -\frac{X^2 - 2.9X + 0.725}{2.9}$$

$$Rq = \sqrt{\frac{1}{Lm} \int_0^{Lm} \left(\frac{x^2 - 2.9x + 0.725}{2.9} \right)^2 dx}$$

$$Rq = \sqrt{\frac{1}{Lm} * \frac{1}{8.41} \int_0^{Lm} (x^2 - 2.9x + 0.725)^2 dx}$$

$$Rq = \sqrt{\frac{1}{Lm} * \frac{1}{8.41} \left[\frac{(x^2 - 2.9x + 0.725)^3}{3} \right]}$$

$$Rq = \sqrt{\frac{1}{1.9} * \frac{1}{8.41} * \frac{1}{3} [(1.9)^2 - (2.9)(1.9) + 0.725]^3}$$

$$Rq = 3.529 \text{ um}$$

Mediante un cálculo integral se obtiene el parámetro Ra y Rq comprobando así el valor determinado por el rugosímetro en la figura 172.

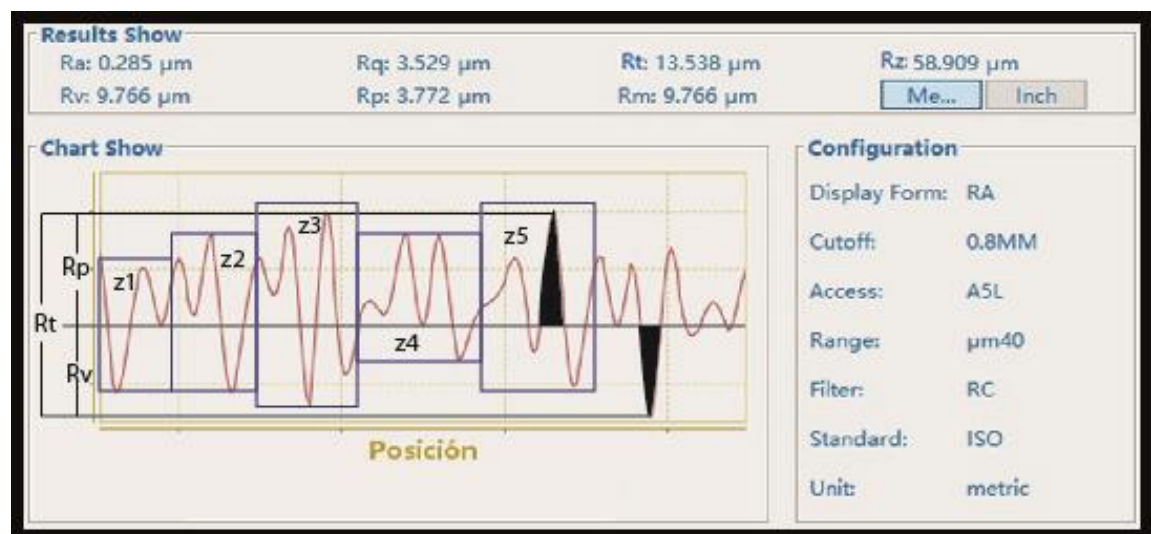


Figura 173. Rugosidad vástago de la aguja de Tobera inyector Denso

En la figura 173, se puede analizar los parámetros de rugosidad Rp, Rv, Rt, y Rz; como se puede observar Rp va ser el pico más alto a partir de la línea media representado por color negro; Rv el valle más bajo a partir de la línea media representado por color negro; Rt la suma de Rp y Rv dando un valor de 13.538 micrómetros dato obtenido por el rugosímetro y representado en la parte superior de la interface; el parámetro Rz es un valor que representa un promedio de la rugosidad máxima obtenida por cinco tramos de medición consecutiva Z1, Z2, Z3, Z4, Y Z5,

tal como se muestra en la figura; obteniendo así un valor dado de 58.909 micrómetros.

Cálculo de Rt:

$$R_t = R_p + R_v$$

Dónde:

R_p = Es el pico más alto desde la línea media L_m .

R_v = Es el valle más bajo desde la línea media L_m .

$$R_t = 3.772 + 9.766$$

$$R_t = 13.538 \text{ um}$$

Se determina el parámetro R_t por la sumatoria de R_p+R_v ; comprobando así el valor obtenido por el rugosímetro en la figura 173.

Cálculo de Rz:

$$R_z = \frac{Z_1 + Z_2 + Z_3 + Z_4 + Z_5}{5}$$

Dónde:

$$Z_1=60.3 \text{ um}$$

$$Z_2=56.7 \text{ um}$$

$$Z_3=64.365 \text{ um}$$

$$Z_4=45.78 \text{ um}$$

$$Z_5=67.4 \text{ um}$$

$$R_z = \frac{60.3 + 56.7 + 64.365 + 45.78 + 67.4}{5}$$

$$R_z = 58.909 \text{ um}$$

Se determina el parámetro R_z con la media de cinco tramos consecutivos, comprobando así el valor obtenido por el rugosímetro en la figura 173.

CAPÍTULO IV

MARCO ADMINISTRATIVO

4.1 Recursos

Este capítulo permitirá llevar a cabo el proyecto de manera eficiente y organizada, en el cual se analizará cómo optimizar los recursos utilizados que son: humanos, tecnológicos, y materiales, los cuales son fundamentales para la realización e incidencia del proyecto de investigación.

4.1.1 Recursos humanos

Para este proyecto de investigación de título “Análisis de desgaste de las toberas de los inyectores de sistemas CRDI a través del uso del rugosímetro”, lo que se obtuvo fue bibliografía contundente, y además establecer los métodos de investigación y la capacidad de los señores: Christian Javier Lara Sanchez y Luis Gabriel Monteros Montenegro, quienes tuvieron el papel de investigadores del proyecto de titulación.

Además, cabe recalcar el asesoramiento del Ing. Luis Mena Navarrete en calidad de director del proyecto de investigación; así también como el Ing. Stalin Mena que ha participado en la elaboración del proyecto de investigación de forma directa y el Sr. Marco Benalcázar propietario y gerente general del laboratorio “Servidiésel Benalcázar” que nos aportado con su conocimiento y prestaciones de servicio para el desarrollo y cumplimiento de las metas de nuestro proyecto de titulación.

4.1.2 Recursos Tecnológicos

Para poder realizar el proyecto de investigación de manera satisfactoria, fue necesario el uso de materiales y equipos tecnológicos tales como: rugosímetro, herramientas para el desarmado de los inyectores y toberas, laptop, internet, libros, cámara fotográfica etc., los cuales facilitaron el desarrollo del proyecto de investigación.

4.1.3 Recursos Materiales

Este recurso comprende todos los elementos tangibles que se utilizaron para materializar el proyecto de investigación como son: rugosímetro, pedestal del rugosímetro, inyectores usados de tres diferentes marcas (Bosch, Denso y Delphi), toberas nuevas de la misma marca, lupas, laptop entre otros dispositivos electrónicos.

4.2 Análisis de costos del proyecto

En la realización del proyecto de investigación, se debe tomar en cuenta, el costo total del mismo, el cual está conformado por el rugosímetro, el pedestal de adaptación del aparato de medición, obtención de los inyectores viejos y las toberas nuevas, De acuerdo con aquello, se va a tomar en cuenta la rentabilidad en la ejecución del proyecto, además si es que la herramienta para medir rugosidad es competente frente a otros de mismas características.

Para el análisis del desgaste en las agujas de las toberas de los inyectores CRDI (Bosch, Denso y Delphi), se debe tomar en consideración los siguientes costos: el precio del rugosímetro SHIMANA SHSBLST241, costos de envío internacional (DHL), gastos en impuestos nacionales (SENAE), diseño, implementación, fabricación y manufactura del pedestal, costos de obtención y alquiler de los inyectores viejos y de las toberas nuevas, respectivamente; y demás gastos que representan insumos.

4.2.1 Costo de materiales (pedestal)

Para la realización del pedestal del rugosímetro, se utilizará los siguientes elementos, como se detalla en la tabla 17.

Tabla 17.

Costo de materiales

ELEMENTO	CANTIDAD	PRECIO	COSTO
Tubo redondo 1[Ø 20]	1	2	2
Tubo redondo 2 [Ø 25]	1	1	1
Plancha de aluminio [250x60x10] mm	2	1	2
Tornillos	6	0,25	1,5
TOTAL			6,5

4.2.2 Costos de mano obra

La fabricación del pedestal fue vital, ya que de esta manera el trabajo del rugosímetro (desplazamiento del sensor palpador) es más cómoda. El costo del diseño, fabricación y manufactura del pedestal del rugosímetro es bajo en relación a los demás gastos realizados en los materiales tecnológicos, pero de igual manera se podrá ver representado en el valor final del proyecto de investigación. El costo de la

mano de obra para la realización del pedestal para el rugosímetro se estima a continuación en la tabla 18.

Tabla 18.

Costos de mano de obra

OPERACIÓN	CANTIDAD	VALOR/HORA	TIEMPO	PRECIO
Diseño de la estructura del pedestal (aluminio)	1	10	1	10
Construcción de la estructura	1	15	2	30
Recubrimiento y acabados	1	5	1	5
TOTAL				45

4.2.2 Costos de inversión del rugosímetro

Para la obtención del aparato de medición marca SHIMANA SHSBLST241, que es la base de la investigación, se realizó la compra en el exterior (República Popular China), por lo que se detalla todas las inversiones realizadas en lo que tiene que ver al precio total del producto y los gastos de envíos legales que este sugiere; tal como se muestra en la tabla 19.

Tabla 19.

Costos del rugosímetro

GASTO/INVERSIÓN	PRECIO (USD)
Costo del rugosímetro SHIMANA SHSBLST241	1800
Trámites de desaduanización	83,79
Liquidación SENAE (Aduana Ecuador)	58,27
TOTAL	1942,06

4.2.3 Gastos de inversión de inyectores y toberas

Para las mediciones de desgaste y rugosidad tanto en las agujas de los inyectores nuevos como usados, se vio la necesidad de obtener inyectores usados

(Bosch, Denso y Delphi) en un taller especializado diésel, y para las medidas de las agujas nuevas se alquilará toberas de las mismas marcas antes nombradas. Todas estas inversiones se detallan en la tabla 20.

Tabla 20.

Gastos de inversión en Inyectores y toberas

ELEMENTO	CANTIDAD	PRECIO	COSTO (USD)
Inyector Bosch	1	5	5
Inyector Denso	1	5	5
Inyector Delphi	1	5	5
Tobera Bosch (alquiler)	1	40	40
Tobera Denso (alquiler)	1	40	40
Tobera Delphi (alquiler)	1	40	40
TOTAL			135

4.2.4 Costo neto del proyecto

Una vez obtenidos los detalles de los costos de inversión de cada uno de los elementos que consta el proyecto, se realiza un sumatorio total, como se detalla en la tabla 21.

Tabla 21.

Costo neto del proyecto

ELEMENTO	COSTO (USD)
Costo de materiales (pedestal)	6,5
Costo mano de obra (pedestal)	45
Costo/inversión del rugosímetro	1942,06
Gastos de inyectores y toberas	135
TOTAL	2131,56

4.2.5 Análisis Costo – Beneficio

Al momento de realizar un balance entre los parámetros de costo económico y los alcances del proyecto, se evidencia que la investigación titulada “ANÁLISIS DE DESGASTE DE LAS TOBERAS DE LOS INYECTORES DE SISTEMAS CRDI A TRAVÉS DEL USO DEL RUGOSÍMETRO” cumple con los objetivos, ya que representa un beneficio para la comunidad politécnica de la extensión como un proyecto de aplicación en el laboratorio de Motores, siendo un complemento educativo para los estudiantes de la carrera de Ingeniería Automotriz de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE-L.

Existen en el mercado a nivel mundial, rugosímetros que presentan mejores prestaciones, en función del margen de error de la lectura de desgaste, así como también la presencia de más parámetros de medida, estos son de fabricación americana con costos elevados que sobrepasan los 3000 usd. Es por ello, que la investigación realizada con el modelo SHIMANA SHSBLST241 fue suficiente para cumplir con los objetivos del trabajo.

4.2.6 Financiamiento

El financiamiento en su totalidad, con lo que respecta a materiales, mano de obra, manufactura, rugosímetro, gastos de envío, desaduanización, adquisición de inyectores y toberas de las marcas antes nombradas fue realizada por los investigadores: Christian Javier Lara Sánchez y Luis Gabriel Monteros Montenegro.

4.3 Cronograma

El cronograma que se muestra en el anexo detalla todas las fases que se han ido culminando, hasta alcanzar el término del proyecto de investigación. (Ver anexo H)

CAPITULO V

“CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES”

CONCLUSIONES

- El parámetro de la rugosidad media Ra que se midió en la aguja de las toberas de los inyectores marca Bosch de la camioneta Mazda Bt-50 2.5 luego de 80000 km de uso, determinó un desgaste de 0.005 μm en la parte cónica de la aguja, y 0.643 μm en el vástago de la aguja, por lo que esto producirá una descalibración, falta de estanqueidad interna, y mal funcionamiento del inyector. A continuación, se muestra en la figura 174 una comparación del parámetro de rugosidad Ra de la aguja del inyector nuevo vs el usado.

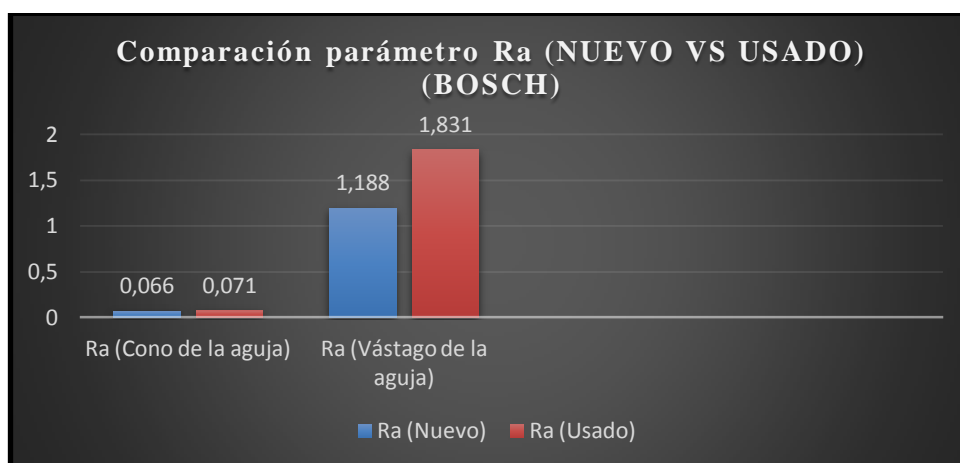


Figura 174. Comparación Parámetro Ra aguja tobera inyector BOSCH

- El parámetro de la rugosidad media cuadrática Rq que se midió en la aguja de las toberas de los inyectores marca Bosch de la camioneta Mazda Bt-50 2.5 luego de 80.000 km de uso, determinó un desgaste de 0.006 μm en la parte cónica de la aguja, y 0.803 μm en el vástago de la aguja, por lo que esto producirá una descalibración, falta de estanqueidad interna, y mal funcionamiento del inyector. A continuación, se muestra en la figura 175 una comparación del parámetro de rugosidad Rq de la aguja del inyector nuevo vs el usado.

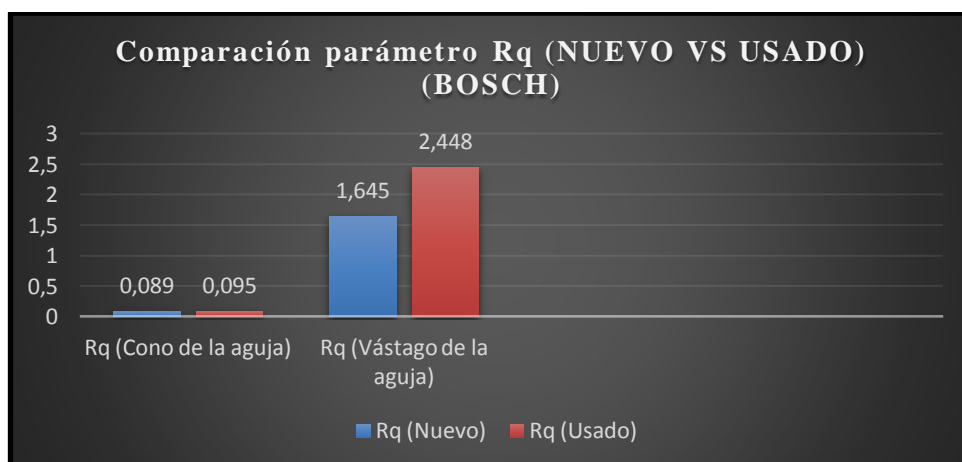


Figura 175. Comparación Parámetro Rq aguja tobera inyector BOSCH

- El parámetro de rugosidad Rp que se midió en la aguja de las toberas de los inyectores marca Bosch de la camioneta Mazda Bt-50 2.5 luego de 80.000 km de uso, determinó que el pico más alto está en el vástago de la aguja nueva del inyector con una medida de 2.559 μm , y en el cono de la aguja el pico más alto está en la tobera usada con una medida de 0.349 μm . Cómo se detalla en la figura 176.

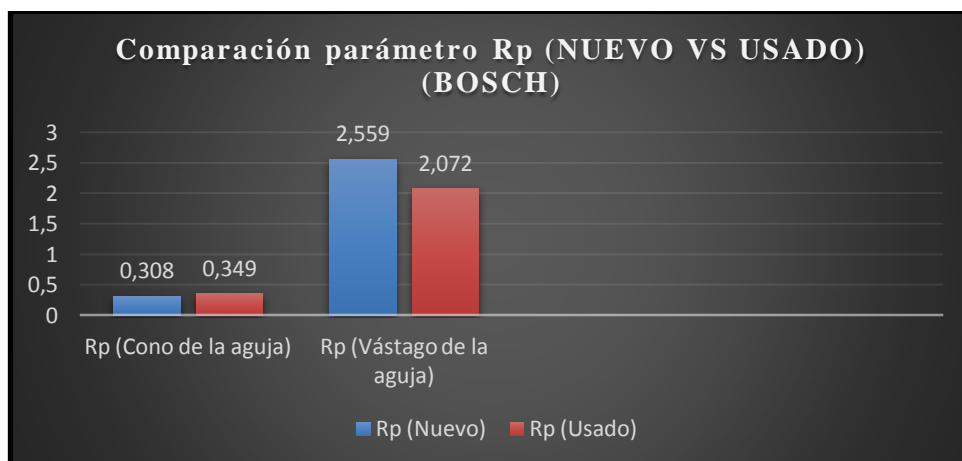


Figura 176. Comparación Parámetro Rp aguja tobera inyector BOSCH

- El parámetro de rugosidad Rv que se midió en la aguja de las toberas de los inyectores marca Bosch de la camioneta Mazda Bt-50 2.5 luego de 80.000 km de uso, determinó que el valle más profundo está en el vástago de la aguja de la tobera usada del inyector con una medida de 7.564 μm , y en el cono de la aguja de la misma con una medida de 0.507 μm . Tal cómo se muestra en la figura 177.

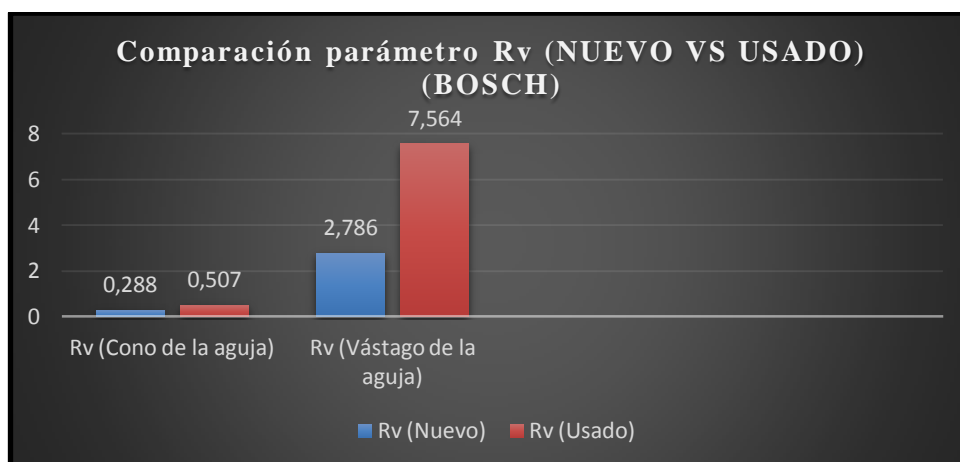


Figura 177. Comparación Parámetro Rv aguja tobera inyector BOSCH

- El parámetro de rugosidad Rt que se midió en la aguja de las toberas de los inyectores marca Bosch de la camioneta Mazda Bt-50 2.5 luego de 80.000 km de uso, determinó que la rugosidad máxima es de 9.636 μm en el vástago de la aguja del inyector usado y de 0.856 μm en el cono de la aguja del mismo, como se observa en la figura 178, obteniendo así un mayor desgaste en la aguja de la tobera usada, el cual provocará daños y mal funcionamiento del inyector.

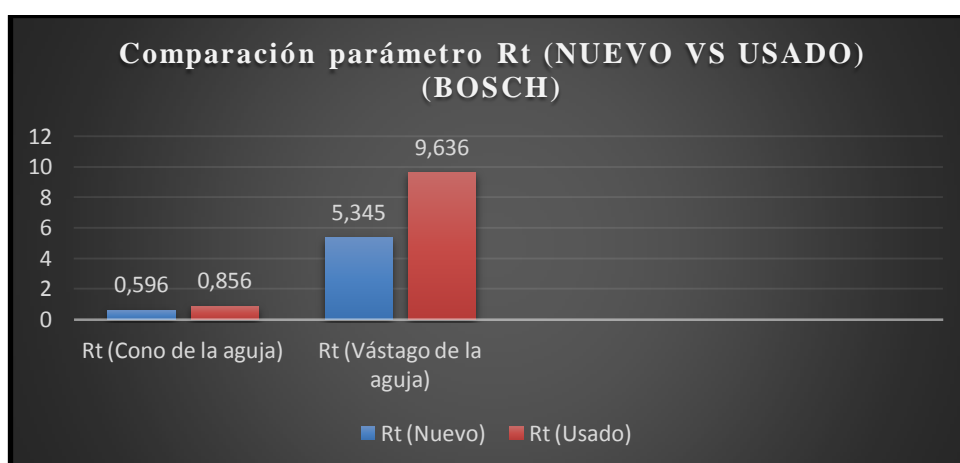


Figura 178. Comparación Parámetro Rt aguja tobera inyector BOSCH

- El parámetro de rugosidad Rz que se midió en la aguja de las toberas de los inyectores marca Bosch de la camioneta Mazda Bt-50 2.5 luego de 80.000 km de uso, determinó que el promedio de la rugosidad máxima de cinco tramos consecutivos es de 34.615 μm en el vástago de la aguja del inyector usado y de 1.415 μm en el cono de la aguja del mismo, obteniendo así un

desgaste de $0.502\ \mu\text{m}$ en la aguja y $18.189\ \mu\text{m}$ en la tobera, como se observa en la figura 179, lo cual provocará daños y mal funcionamiento del inyector.

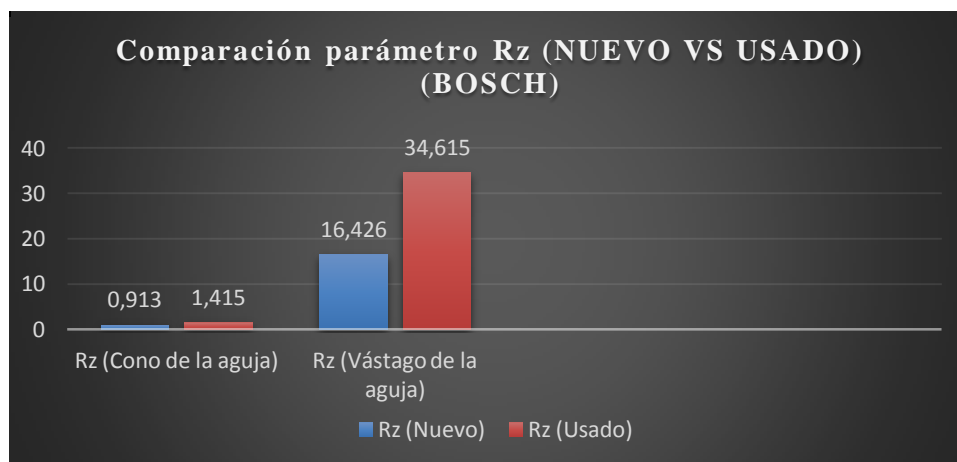


Figura 179. Comparación Parámetro Rz aguja tobera inyector BOSCH

- La medición de la rugosidad media aritmética (Ra) es mayor en las agujas (cono- vástago) de las toberas de inyección usadas, del inyector Denso del vehículo Toyota Hilux 3.0; en el cual se ha producido un desgaste en el cono de $0.018\ \mu\text{m}$, luego de 85000 km de uso; mientras que en el vástago de la aguja de la tobera, en el mismo tiempo de funcionamiento, presenta un desgaste de $0.285\ \mu\text{m}$ en el usado, a diferencia del nuevo que posee $0.093\ \mu\text{m}$. Como se detalla en la figura 180.

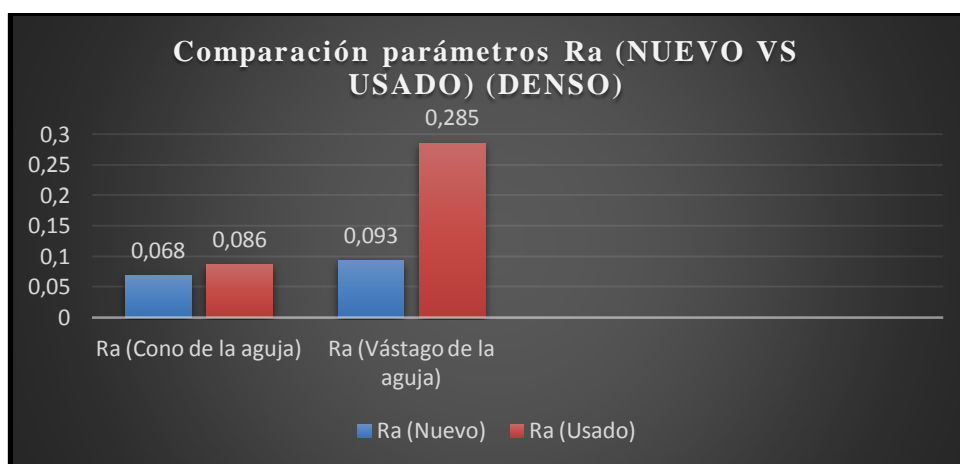


Figura 180. Comparación Parámetro Ra aguja tobera inyector DENSO

- Las medidas obtenidas de la rugosidad media cuadrática (Rq) con el rugosímetro, se observa que son mayores en la aguja usada (cono - vástago)

que ha tenido un trabajo de 85000 km en un vehículo Toyota Hilux 3.0. En el cono de la aguja se ha dado un desgaste de $0.024 \mu\text{m}$; mientras que en el vástago de la aguja, la usada presenta una superficie rugosa de $3.529 \mu\text{m}$ a diferencia de la aguja nueva que presentó una medida de $0.121 \mu\text{m}$; como se muestra en la figura 181.

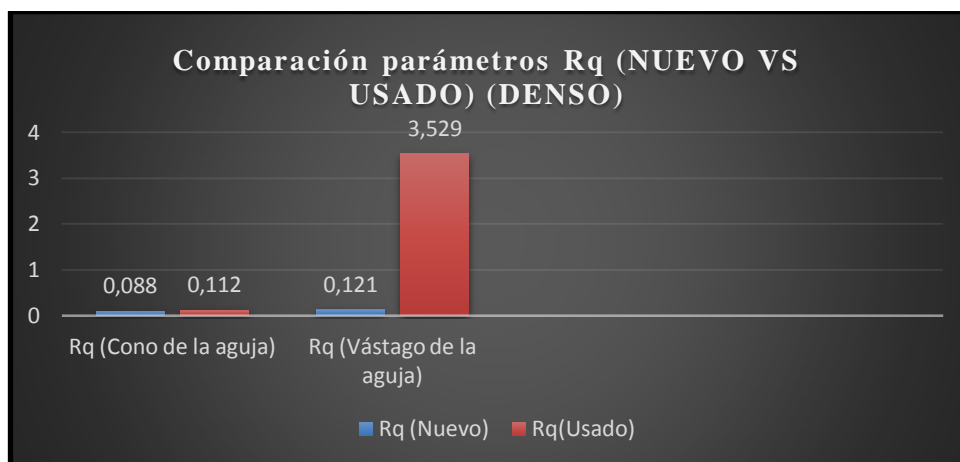


Figura 181. Comparación Parámetro Rq aguja tobera inyector DENSO

- El dato de la profundidad total (R_t), se presenta en mayor cantidad en la aguja de la tobera de inyección usada del vehículo Toyota Hilux con un recorrido de 85000 km, en el cono de la aguja se presenta una profundidad del desgaste de $0.118 \mu\text{m}$; ya que, en el vástago de la aguja usada se presenta un mayor desgaste de $13.538 \mu\text{m}$, a diferencia de la aguja nueva que presentó una rugosidad de $0.807 \mu\text{m}$, como se puede observar en la figura 182.

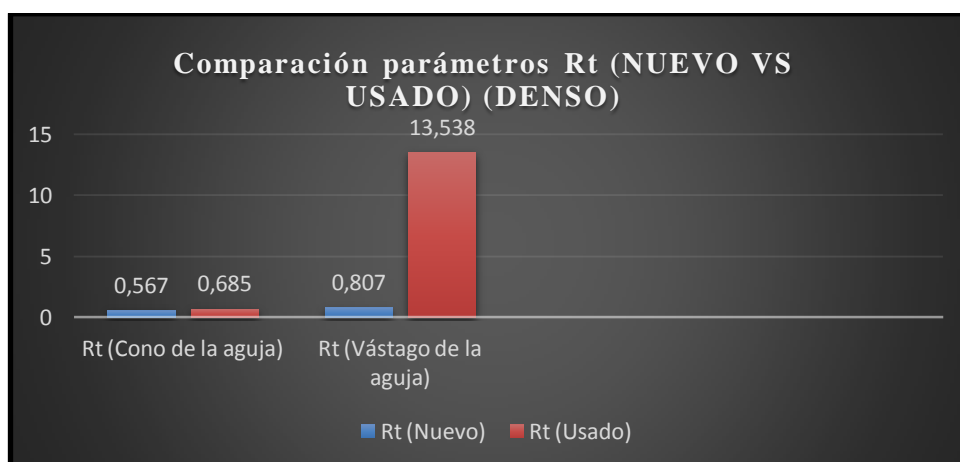


Figura 182. Comparación Parámetro Rt aguja tobera inyector DENSO

- La media de la rugosidad (Rz), medida con el rugosímetro en la aguja de la tobera de inyección, de un inyector Denso de un Toyota Hilux 3.0, se presenta un mismo promedio entre los cinco módulos de la medida de longitud, con una rugosidad de $0.892 \mu\text{m}$; mientras que en el vástago de la aguja la media de la rugosidad es mucho más notable, posee una media de desgaste de $56.983 \mu\text{m}$ como se muestra en la figura 183.

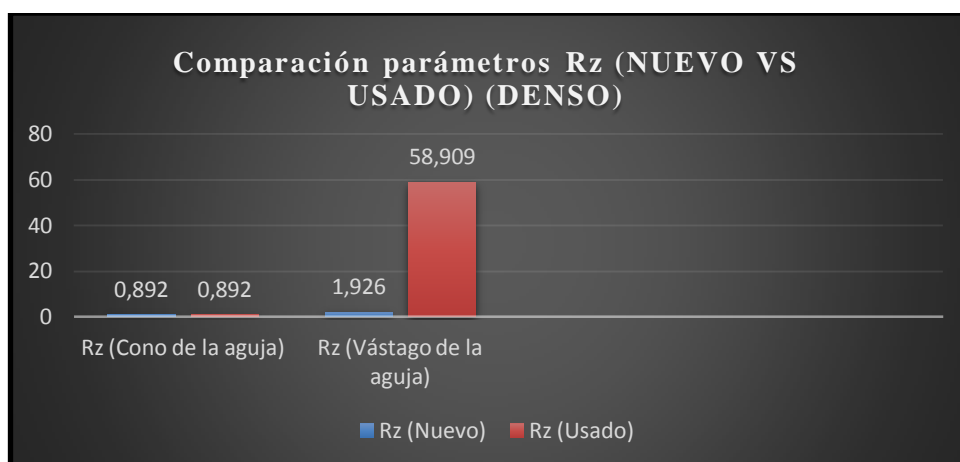


Figura 183. Comparación Parámetro Rz aguja tobera inyector DENSO

- La medición del pico más alto (Rp) obtenido con el rugosímetro, se puede verificar que las medidas son mayores en la aguja usada del inyector Denso del vehículo Toyota Hilux 3.0; con un recorrido de 85000 km. Así, en el cono de la aguja nueva se presenta un pico más alto de $0.254 \mu\text{m}$, mientras que en la usada se presenta un desgaste de $0.292 \mu\text{m}$. De igual manera en el vástago de la aguja existe un desgaste mayor desgaste en el usado, se ha producido un desgaste de $3.407 \mu\text{m}$; como se puede verificar en la figura 184.

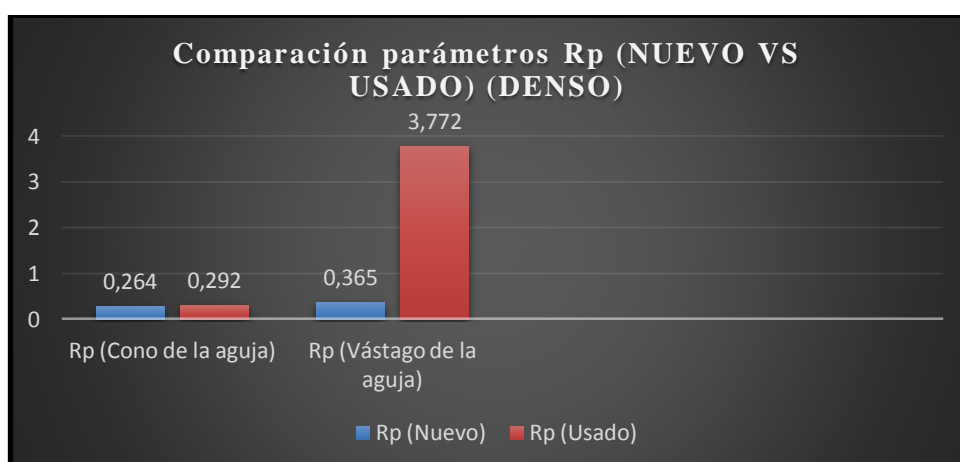


Figura 184. Comparación Parámetro Rp aguja tobera inyector DENSO

- El valle más bajo (Rv), al igual que en los casos anteriores, se presentan en una medida mayor en la aguja de la tobera de inyección usada, proveniente del inyector Denso del vehículo Toyota Hilux 3.0 con un recorrido de 85000 km. Como se muestra en la gráfica 185, el cono de la aguja nueva posee una rugosidad superficial de $0.312 \mu\text{m}$ a diferencia del usado con $0.393 \mu\text{m}$; mientras que en el vástago de la aguja se presenta un valle más luego del tiempo de uso de $9.324 \mu\text{m}$.

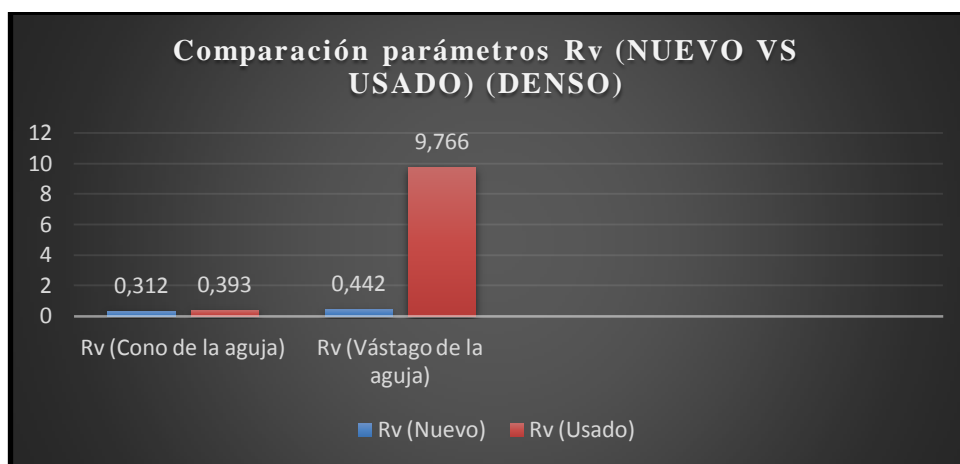


Figura 185. Comparación Parámetro Rv aguja tobera inyector DENSO

- El parámetro de la rugosidad media Ra que se midió en la aguja de las toberas de los inyectores marca Delphi del vehículo Hyundai Terracan 2.9 luego de 75.000 km de uso, determinó un desgaste de $0.03 \mu\text{m}$ en la parte cónica de la aguja, y $0.023 \mu\text{m}$ en el vástago de la aguja, por lo que esto producirá una des calibración, falta de estanqueidad interna, y mal funcionamiento del inyector. A continuación, se muestra en la figura 186 una comparación del parámetro de rugosidad Ra de la aguja del inyector nuevo vs el usado.

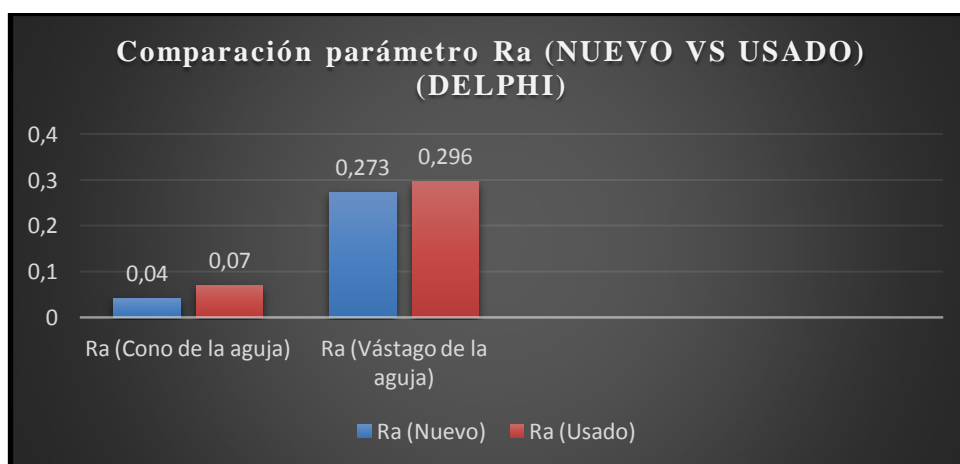


Figura 186. Comparación Parámetro Ra aguja tobera inyector DELPHI

- El parámetro de la rugosidad media cuadrática R_q que se midió en la aguja de las toberas de los inyectores marca Delphi del vehículo Hyundai Terracan 2.9 luego de 75000 km de uso, determinó un desgaste de $0.005 \mu\text{m}$ en la parte cónica de la aguja, y $1.014 \mu\text{m}$ en el vástago de la aguja, por lo que esto producirá una descalibración, falta de estanqueidad interna, y mal funcionamiento del inyector. A continuación, se muestra en la figura 187 una comparación del parámetro de rugosidad R_q de la aguja del inyector nuevo vs el usado.

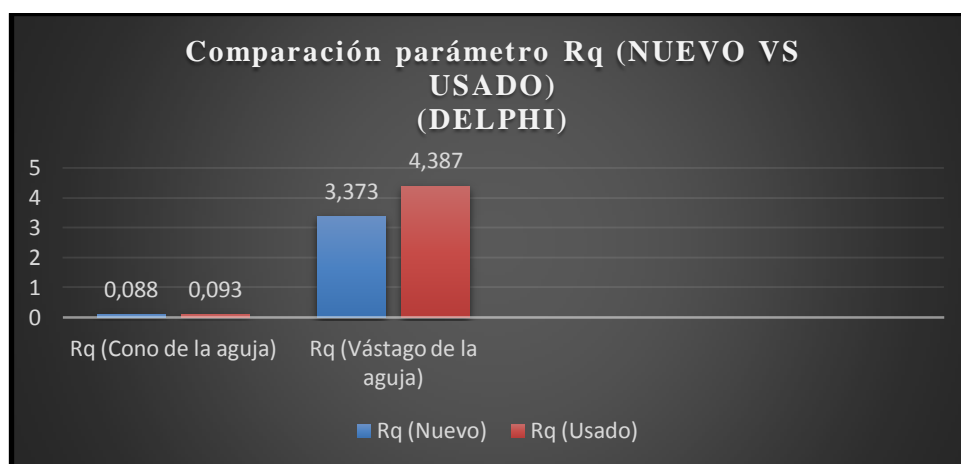


Figura 187. Comparación Parámetro R_q aguja tobera inyector DELPHI

- El parámetro de rugosidad R_p que se midió en la aguja de las toberas de los inyectores marca Delphi del vehículo Hyundai Terracan 2.9 luego de 75000 km de uso, determinó que el pico más alto está en el vástago de la aguja usada del inyector con una medida de $2.644 \mu\text{m}$, y en el cono de la aguja el pico más alto está en la tobera usada con una medida de $0.373 \mu\text{m}$. Cómo se detalla en la figura 188.

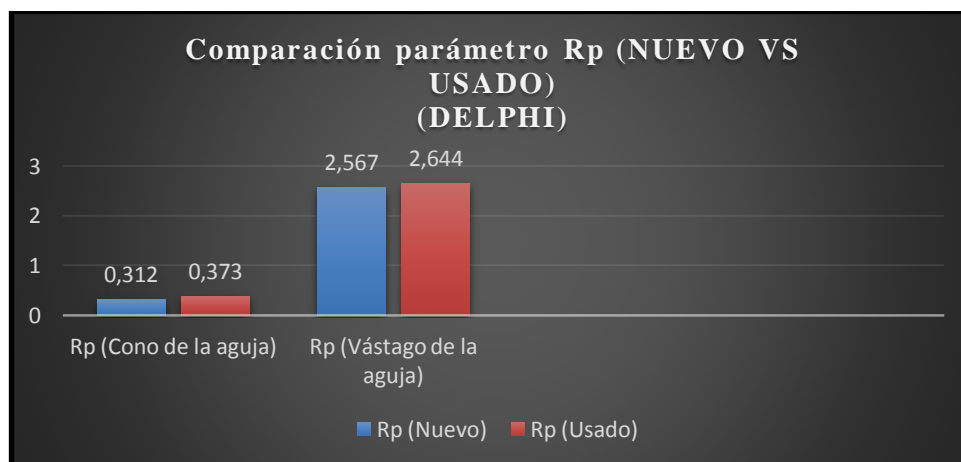


Figura 188. Comparación Parámetro R_p aguja tobera inyector DELPHI

- El parámetro de rugosidad Rv que se midió en la aguja de las toberas de los inyectores marca Delphi del vehículo Hyundai Terracan 2.9 luego de 75000 km de uso, determinó que el valle más profundo está en el vástago de la aguja de la tobera usada del inyector con una medida de 19.338 μm , y en el cono de la aguja con una medida de 0.406 μm . Tal cómo se muestra en la figura 189.

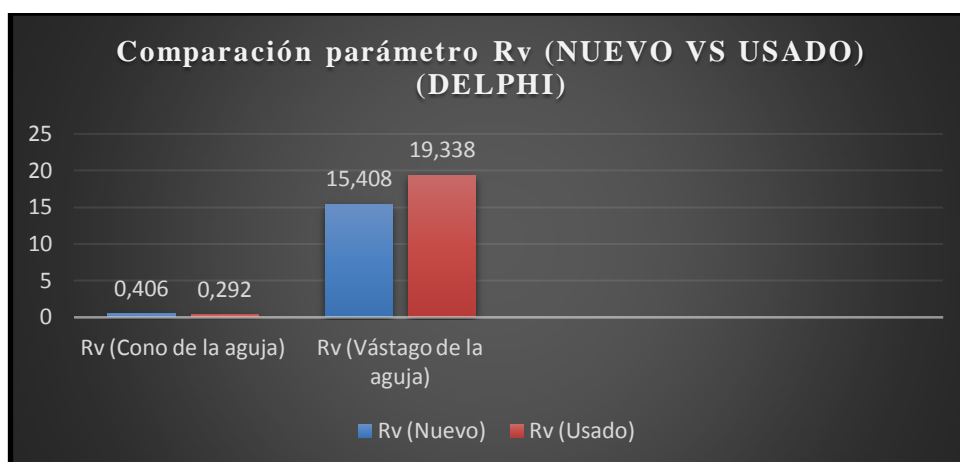


Figura 189. Comparación Parámetro Rv aguja tobera inyector DELPHI

- El parámetro de rugosidad Rt que se midió en la aguja de las toberas de los inyectores marca Delphi del vehículo Hyundai Terracan 2.9 luego de 75000 km de uso, determinó que la rugosidad máxima es de 21.982 μm en el vástago de la aguja del inyector usado y de 0.718 μm en el cono de la aguja, como se observa en la figura 190, obteniendo así un mayor desgaste en el vástago de la aguja de la tobera usada, el cual provocará daños y mal funcionamiento del inyector.

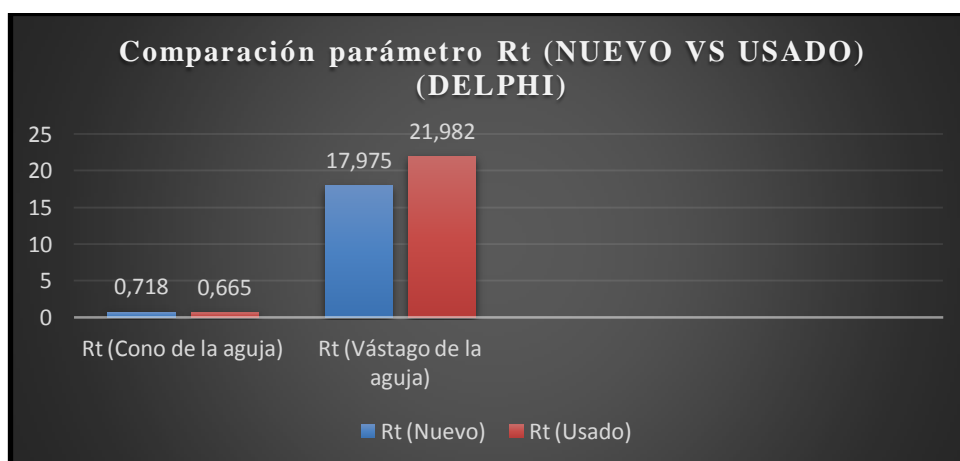


Figura 190. Comparación Parámetro Rt aguja tobera inyector DELPHI

- El parámetro de rugosidad Rz que se midió en la aguja de las toberas de los inyectores marca Delphi del vehículo Hyundai Terracan 2.9 luego de 75.000 km de uso, determinó que el promedio de la rugosidad máxima de cinco tramos consecutivos es de 59.416 μm en el vástago de la aguja del inyector usado y de 1.034 μm en el cono de la aguja de la tobera del inyector nuevo, obteniendo así un desgaste de 0.345 μm en el vástago de la aguja de la tobera del inyector usado como se muestra en la figura 191, lo cual provocará daños y mal funcionamiento del inyector.

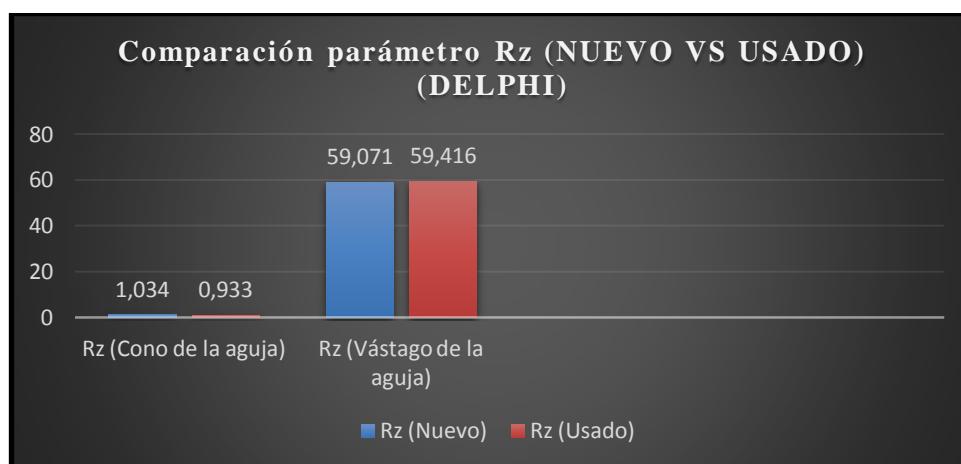


Figura 191. Comparación Parámetro Rz aguja tobera inyector DELPHI

- Las tres marcas Bosch, Denso y Delphi poseen acabados superficiales rigurosos tanto para el cono como para el vástago de la aguja de la tobera de inyección. Como se muestra en la gráfica, se puede ver que en el cono de la aguja los valores de rugosidad son bien bajos (rugosidad media aritmética Ra), el que posee un mejor acabado superficial es el de la aguja del inyector Delphi, con 0.040 μm , ya que posee una media aritmética de rugosidad (Ra) más baja y con 0.068 μm el cono del inyector Denso, como se puede ver en la figura 192.
- De igual manera el vástago de la aguja de la tobera se expone a desgastes, por lo que su acabado superficial también es bajo, pero alto en relación al acabado que tiene que haber en el cono de la aguja; así, el vástago del inyector Denso del vehículo Toyota Hilux 3.0 es el que posee un mejor acabado con 0.093 μm ; mientras que el vástago con menor acabado

superficial es el de la marca Bosch con 1.118 μm , como se muestra en la figura 192.

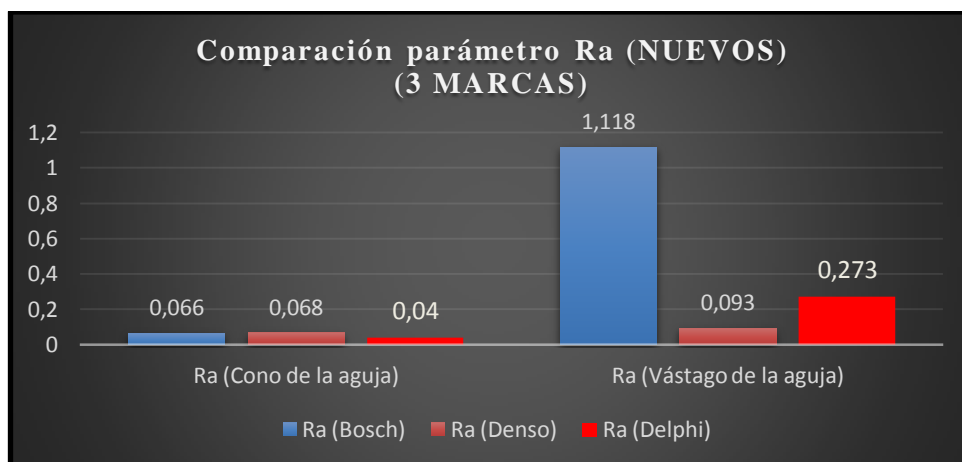


Figura 192. Comparación Parámetro Ra entre agujas de inyección (nuevas)

- El parámetro de profundidad total (Rt) en las tres marcas Bosch, Denso y Delphi hacen referencia a la relación del pico más alta y valle más bajo en la rugosidad. Como se muestra en la gráfica, se puede ver que en el cono de la aguja los valores de profundidad total son bajos, el que posee una menor profundidad es el de la aguja del inyector Bosch, con 0.596 μm , ya que posee una profundidad total (Rt) más baja y con 0.718 μm el cono del inyector Delphi, como se puede ver en la figura 193.
- En el vástago de la aguja de la tobera se presenta mayor profundidad total (Rt) que en el cono, se puede observar en la figura 193, que el vástago de la aguja del inyector Denso del vehículo Toyota Hilux 3.0 posee una menor profundidad total con 0,807 μm , en relación al vástago de la aguja del inyector Bosch le cual presenta una profundidad superior con 17.975 μm

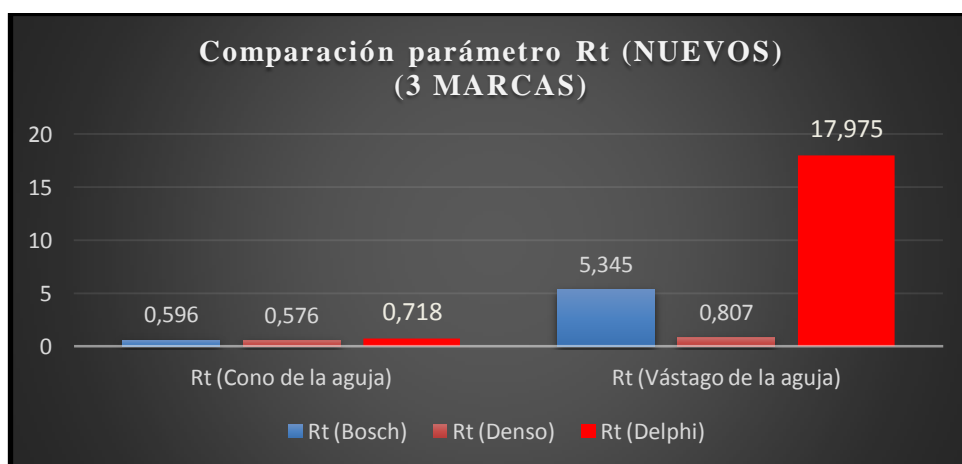


Figura 193. Comparación Parámetro Rt entre agujas de inyección (nuevas)

- Entre las tres marcas que se realizaron las mediciones (Bosch, Denso, Delphi), se puede ver que el cono de la aguja de inyección del inyector Delphi correspondiente al vehículo Hyundai Terracan 2.9 cc con un recorrido de 75000 km, tuvo un menor desgaste (rugosidad media aritmética Ra) con $0.07 \mu\text{m}$, mientras que el cono de aguja que posee un mayor desgaste, es la aguja del inyector Denso el cual se obtuvo del vehículo Toyota Hilux 3.0 cc con un recorrido de 85000 km con un valor de rugosidad $0,086 \mu\text{m}$. Como se puede observar en la figura 194.
- El vástago de la aguja del inyector también es un elemento que está expuesto a desgaste debido a la alta presión, temperatura y calidad del combustible, por lo que el vástago de aguja con mayor desgaste es la de Bosch proveniente del vehículo Mazda BT-50 2.5cc con recorrido de 80000 km, con una rugosidad de $1,831 \mu\text{m}$, a diferencia del inyector Denso del vehículo Toyota Hilux 3.0 cc que posee un menor desgaste de $0,285 \mu\text{m}$; como se muestra en la figura 194.

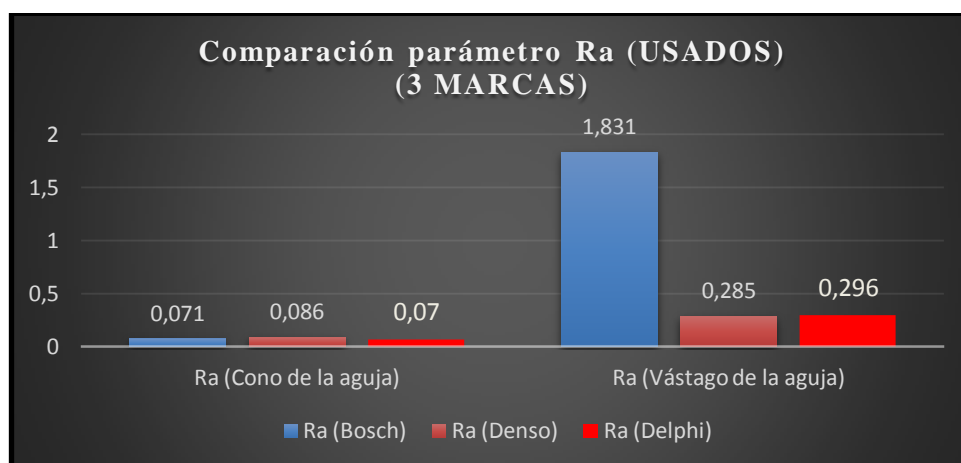


Figura 194. Comparación Parámetro Ra entre agujas de inyección (usadas)

- El parámetro Rt o profundidad total que se obtuvo de las agujas (cono) de los inyectores en las tres marcas con las que se trabajó en la investigación (Denso, Bosch, Delphi); se representa en la figura 195 que el cono de la aguja del inyector Delphi presenta menor profundidad total, con una medida de $0,665 \mu\text{m}$, en comparación de la aguja del inyector Bosch que posee una mayor profundidad con $0,856 \mu\text{m}$.

- En relación al parámetro de profundidad (R_t) en el vástago de la aguja de la tobera de inyección, se puede observar que en la figura 195, que el vástago de la aguja del inyector Delphi posee mayor un mayor parámetro R_t con 21,982 μm , mientras que el vástago de la aguja del inyector Bosch es el que presenta un menor número de profundidad total con 9,636 μm .

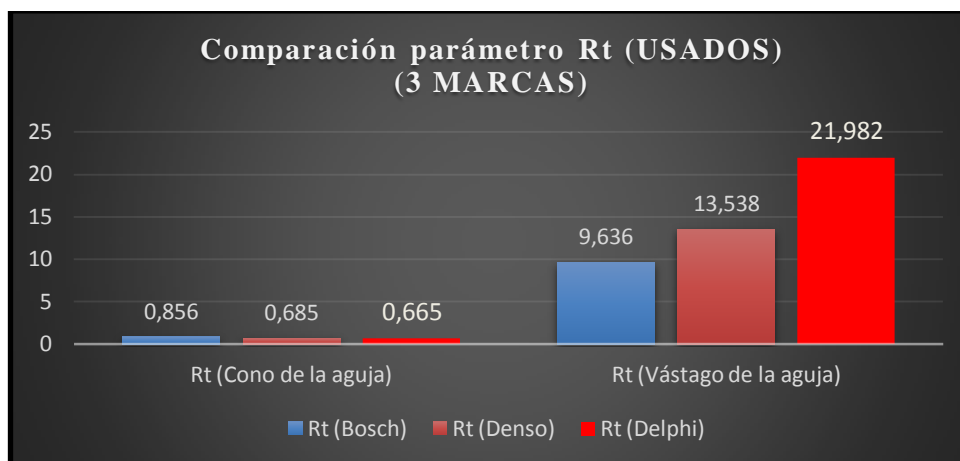


Figura 195. Comparación Parámetro R_t entre agujas de inyección (usadas)

- Para poder determinar el desgaste verdadero que posee el cono de la aguja del inyector; en función de la rugosidad media aritmética (R_a), se puede obtener una diferencia de R_a entre el usado y el nuevo, como se puede observar en la figura 196; el cono de aguja que más se deterioró es del inyector Denso, del vehículo Toyota Hilux 3.0 cc, con un recorrido de 85000 km, con un desgaste de 0,018 μm ; a diferencia del cono del inyector Delphi de un automóvil Hyundai Terracan 2.9cc, con un recorrido de 75000 km, el cual se desgastó menos con 0,003 μm .

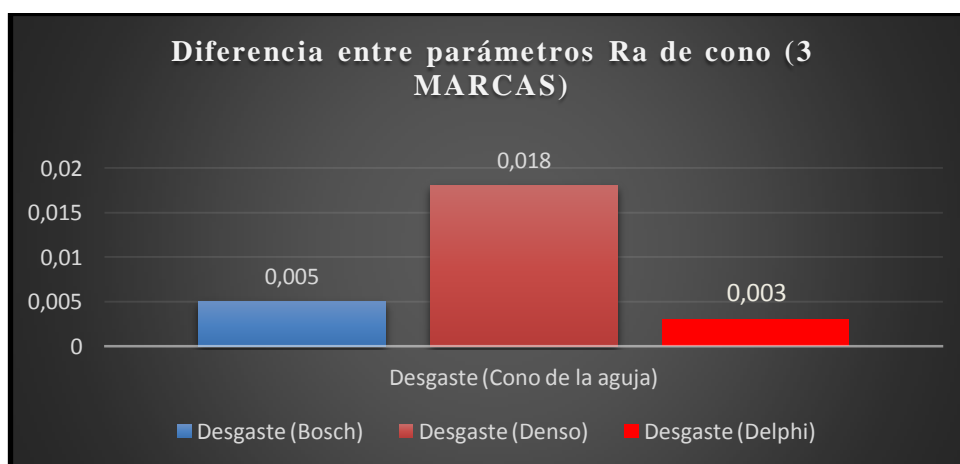


Figura 196. Desgaste entre conos de aguja (3 marcas)

- De igual manera con los datos obtenidos de la media aritmética (R_a) se puede determinar el mayor desgaste que posee el vástago de la aguja del inyector, como se puede observar en la figura 197, el vástago que más se desgastó es del inyector Bosch, del vehículo Mazda BT-50 2.5 cc, con un recorrido de 80000 km, con un desgaste de $0.643 \mu\text{m}$, a diferencia del vástago de la aguja del inyector Delphi del Hyundai Terracan 2.9 cc, con un uso de 75000 km, el cual posee menor desgaste en $0.023 \mu\text{m}$. Debido a que Bosch presenta un material diferente en comparación a Denso y Delphi.

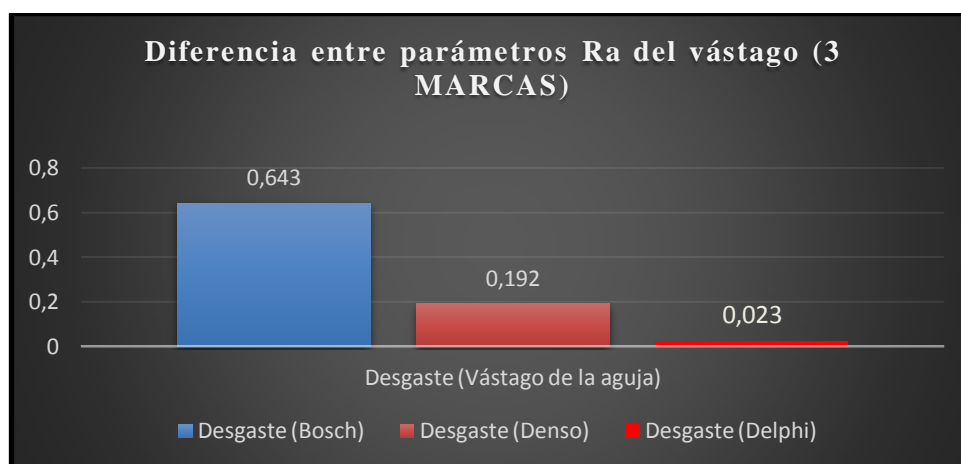


Figura 197. Desgaste entre vástagos de agujas (3 marcas)

- Las agujas de inyección nuevas, presentan una mayor rugosidad en la zona del vástago, el cono de las agujas presenta por ende un mejor acabado en las tres marcas comerciales (Bosch, Denso, Delphi), debido a que en esta zona se necesita de menor fricción para mejorar las condiciones del paso y la inyección del diesel a la cámara de combustión del vehículo.
- El cono de la aguja Bosch pertenece a la clase de rugosidad N3, eso quiere decir que se trata de una superficie especular (ángulo incidente igual al reflejado), la superficie es del tipo lapeado, rectificado y pulido tipo espejo. Mientras que el vástago es clase N7, donde la superficie se parecía su rugosidad a la vista, generado por un rectificado y pulido.
- El cono de la aguja Denso pertenece a la clase de rugosidad N3, eso quiere decir que se trata de una superficie especular, la superficie es del tipo lapeado, rectificado y pulido tipo espejo. Mientras que el vástago también es

de clase N3, con mayor desgaste, donde la superficie es especular producto de ser una superficie lapeada, rectificada y pulida.

- El cono de la aguja Delphi pertenece a la clase de rugosidad N2, lo que significa que se trata de una superficie especular, la superficie es del tipo lapeado, rectificado y pulido tipo espejo. Mientras que el vástago también es de clase N4, con las características de superficie especular producto del rectificado, lapeado y pulido de la superficie.
- Los conos de las agujas de inyección de las marcas Bosch, Denso y Delphi nuevas con rugosidades 0.066um, 0.068um y 0.040um respectivamente coinciden con la rugosidad media aritmética de ejes de émbolos, émbolos de bombas de inyección, rodillos y alojamientos, camisas y cilindros de motores y rodamientos.
- El vástago de la aguja de inyección Denso poseen una rugosidad de 0.093um la cual coincide con la rugosidad media aritmética de superficies como: ejes de émbolos, superficies para la retención de fluidos (diésel), conos de cabeza de válvula, cañas de válvulas, etc.
- El vástago de la aguja de inyección Delphi poseen una rugosidad de 0.273um la cual coincide con la rugosidad media aritmética de superficies como: ejes de cojinetes, cojinetes de biela, rodamientos, caña de válvula de cabeza, etc.

RECOMENDACIONES

- Se exhorta a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE – L a que en el Laboratorio de Motores se disponga de un rugosímetro que posea mejores prestaciones en relación a la cantidad de parámetros que se trabaje y menores porcentaje de margen de error.
- Antes de ocupar el aparato de medición, se recomienda al usuario leer el manual de instrucciones presente en el kit del rugosímetro.
- Al momento de realizar las mediciones de rugosidad con el rugosímetro, comprobar la norma y la tolerancia de medida con la que se necesite trabajar.
- Se recomienda en el despiece del inyector, ubicar los elementos (válvula, separadores, resorte, etc.) en un contenedor que posea diésel, ya que las superficies necesitan estar húmedas para poder armarlas nuevamente.
- Para manipular la aguja de la tobera se debe usar en todo momento guantes de látex, para evitar que se ensucie la superficie, ya que podría provocar un mal funcionamiento del inyector y que se arrojen medidas erróneas en el rugosímetro.
- Ubicar de manera fija la pieza a ser medida con ayuda del pedestal del rugosímetro, para obtener medidas exactas.
- Observar detalladamente la gráfica que da el rugosímetro cuando se realice una medición y determinar el pico más alto y el valle más profundo para tener una referencia de rugosidad máxima.
- Manipular de manera idónea el sensor captador del rugosímetro debido a que es una parte sensible y por un mal uso puede tener daños y no dar medidas exactas.
- Antes de realizar una medición, se debe limpiar las superficies tanto del rugosímetro como de la pieza a ser medida por medio de un trapo limpio que no arroje pelusas.
- Antes de realizar una medición de una parte mecánica analizar en qué lugares puede existir mayor desgaste, para de esta manera tener un mejor estudio de la investigación que se esté realizando.
- Comprobar con cálculos integrales las mediciones que determine el rugosímetro, para tener una mejor argumentación del estudio que se esté realizando.

- Se sugiere a los estudiantes de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE-L que estén en los últimos niveles de la carrera, proponer que se realice una investigación del desgaste que sufre un inyector a gasolina y compararlo con uno a diésel de la misma marca y a iguales condiciones finales de trabajo.
- Realizar una investigación en la cual se construya un banco de inyectores CRDI que utilice exclusivamente biodiésel, y se lo ponga a trabajar durante intervalos de tiempo y poder analizar qué tipo de desgaste producen dichos inyectores en sus toberas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Acción, V. d. (2013). *Video de Mecánica en Acción*. Obtenido de Video de Mecánica en Acción: consultado el 12 agosto 2016, <http://mecanicaenaccion.com/curso/material-de-apoyo-riel-comun/>

AEADE. (12 de Diciembre de 2015). Obtenido de AEADE: consultado el 3 de septiembre de 2016, <http://www.aeade.net/>

Alonso, H. R. (2010). *Diseño mecánico Industrial*. Obtenido de Diseño mecánico Industrial: file:///C:/Users/LENOVO/Downloads/OCW_rugosidades_sup%20(1).pdf

Alonso, J. M. (2001). *Técnicas del Automóvil: Sistema de Inyección de Combustión en los Motores Diésel*. Madrid: Paraninfo.

Antonio, O. (2000). *Tratado del Automóvil*. Madrid: Dossat 2000.

Arrizabalaga, L. (2010). Rugosidades Superficiales. En L. Arrizabalaga, *Técnicas máquinas herramientas* (págs. 126-130). Madrid: Thomson.

Bepmale, A. (10 de junio de 2012). *SlideShare*. Obtenido de SlideShare: consultado el 3 de septiembre de 2016, http://es.slideshare.net/alejandrobepmale/sistemas-de-inyeccion-diesel?qid=ed9ba36f-2085-44cd-a6c2-1037f4620acd&v=&b=&from_search=26

Bosch. (1999). *Manual de la Técnica del Automóvil*. Barcelona: Reverté.

BOSCH. (2008). *Sistema CRDI de Diesel*. Madrid: Antoni Bosch S.A.

Bosch. (S.F.). *Bosch*. Obtenido de Bosch: consultado el 3 de septiembre de 2016, http://de.bosch-automotive.com/es/parts_and_accessories/motor_and_sytems/diesel/common_rail_injection/common_rail_diesel_motorsys_parts

BOSCH, A. (2005). *Sistema de Inyección Diesel por acumulador Common Rail*. México, D.F.: Bosch S.A.

Cervantes, B. (16 de mayo de 2013). *SlideShare*. Obtenido de SlideShare: consultado el 4 de octubre de 2016, <http://es.slideshare.net/byker07/sistema-riel-comun-bosch>

Corporation, D. (2004). *Scribd*. Obtenido de Scribd: consultado el 4 de octubre de 2016, <https://es.scribd.com/doc/59728445/Denso-CR-general-espanol#download>

Coslada, E. (2015). *Taller de mecánica*. Obtenido de Taller de mecánica: consultado el 6 de agosto de 2016, <http://www.tallerdemecanica.com/blog/59-sistemas-de-common-rail-o-rail-comun>

Dani. (2014). *Aficionados a la mecánica*. Obtenido de Aficionados a la mecánica: consultado el 22 de octubre de 2016, <http://www.aficionadosalamecanica.net/hazlo-inyectores.htm>

Delphi. (2006). *Scribd*. Obtenido de Scribd: consultado el 4 de octubre de 2016, <https://es.scribd.com/doc/133786373/Inyectores-Delphi-pdf#download>

Diagramas. (2008). *Diagramas*. Obtenido de Diagramas: consultado el 12 de octubre de 2016, <http://diagramas.diagramasde.com/otros/common%20rail%20renault.pdf>

EveryPatent. (3 de Febrero de 1998). *U.S. Patent*. Obtenido de U.S. Patent: consultado el 18 de octubre de 2016, <http://www.everypatent.com/comp/pat5713326.html>

Gómez, D. (2012). *dspace.uazuay*. Obtenido de dspace.uazuay: consultado el 4 de octubre de 2016, <http://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/1433/1/09601.pdf>

Groover, M. (2007). Rugosidades Superficiales. En M. Groover, *Fundamentos de manufactura moderna* (págs. 81-82). Santa Fe de México, D.F.: McGraw-Hill.

GTM. (13 de 10 de 2012). *mdp.edu.ar*. Obtenido de mdp.edu.ar: consultado el 10 de septiembre de 2016, <http://www3.fi.mdp.edu.ar/tecnologia/archivos/TecFab/10.pdf>

INEN, N. (2012). *Instituto Ecuatoriano de Normalización*. Obtenido de Instituto Ecuatoriano de Normalización: consultado el 4 de octubre de 2016, <https://law.resource.org/pub/ec/ibr/ec.nte.1489.2012.pdf>

ingenieria-mecánica. (2014). Obtenido de ingenieria-mecánica: consultado el 4 de agosto de 2016, <http://ocw.upm.es/ingenieria-mecanica/especificacion-de-dimensiones-y-tolerancias-gd-t/06-tolaca/0601-tolaca.pdf>

ISO. (2013). *www.edu.xunta.gal*. Obtenido de www.edu.xunta.gal: consultado el 5 de diciembre de 2016, http://www.edu.xunta.gal/centros/cfrcoruna/aulavirtual2/file.php/186/Calidad_Superficial.pdf

Jensen, H. (2004). Textura de Superficie. En H. Jensen, *Dibujo y Diseño en Ingeniería* (pág. 237). México, D.F.: McGraw-Hill.

López&López. (2008). *López&López*. Obtenido de López&López: consultado el 4 de octubre de 2016, http://www.lopezylopez.com.ar/blog_004.php

Lopez, R. (2006). Uso de combustible Inadecuado. *Service Diesel*, 22-24.

Mata-Cabrera. (2013). *Predicción de los parámetros de rugosidad en elementos de máquina mecanizados en compuestos de Peek*. Madrid: Librery.

Matbase. (S.F.). *Matbase*. Obtenido de Matbase: consultado el 28 de octubre de 2016, <https://www.matbase.com/material-categories/metals/ferrous-metals/high-grade-steel/material-properties-of-high-grade-steel-18crni8.html#general>

Miralles, J., & Villalta, J. (1991). *Motor Diesel: Inyección y combustión*. Barcelona: CEAC.

Monin, C. (2009). *Procesos de formación de hollines en la Difusión Diesel*. Madrid: Paraninfo.

Moreno, D. B. (2015). *calameo*. Obtenido de calameo: consultado el 1 de agosto de 2016, <http://es.calameo.com/read/000714399f4e514cf6ef3>

MOTORS, K. (2008). *KIA MOTORS*. Obtenido de KIA MOTORS: consultado el 4 de agosto de 2016, http://www.ceduc.cl/aula/cqbo/materiales/ME/ME-420/A/handsout_instructorguide4kia.pdf

Peñañiel. (24 de febrero de 2016). *Scribd*. Obtenido de Scribd: consultado el 4 de octubre de 2016, <https://es.scribd.com/doc/300360795/Sistema-Crdi-Bosch>

Pintos, M. (2008). *Rincón del Vago*. Obtenido de Rincón del Vago: consultado el 4 de octubre de 2016, <http://html.rincondelvago.com/inyectores.html>

Redacción. (15 de noviembre de 2012). *Alianza Flotillera*. Obtenido de Alianza Flotillera: consultado el 5 de noviembre de 2016, <http://www.alianzaflotillera.com/noticias/sintomas-del-mal-funcionamiento-en-el-inyector-de-un-motor-diesel/>

Schneider, W. (2008). *Manual práctico de dibujo técnico: introducción a los fundamentos de dibujo*. Madrid: Reverte.

UCA. (2015). Obtenido de UCA: www.uca.edu.sv/noticias/descargar-1393599791-5310a52f50219.pdf

Valderrama, A., Flores, J., Bejar, M., & Quispe, C. (2009). Desgaste en los sistemas de inyección diesel por efecto del elevado contenido de azufre en el petróleo. *Revista de Investigación Científica*, 34-35.

ANEXOS



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

CERTIFICACIÓN

Se certifica que el siguiente trabajo fue desarrollado por el Sr. Christian Javier Lara Sanchez y el Sr. Luis Gabriel Monteros Montenegro, bajo nuestra supervisión.



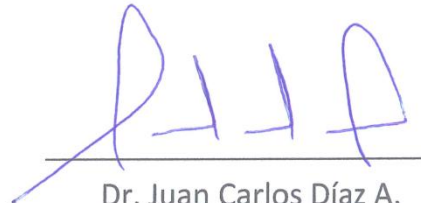
Ing. Luis Meña Navarrete

Director del Proyecto



Ing. Danilo Zambrano

Director de Carrera



Dr. Juan Carlos Díaz A.

Secretario Académico

