

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



**CHRISTIAN LARA
GABRIEL MONTEROS**

LATACUNGA - 2016

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA:

- El sistema CRDI al trabajar a altas presiones y elevadas temperaturas, faltas en el mantenimiento del sistema de inyección son los causantes de que se produzca un desgaste en los inyectores que usan sistemas de riel común.
- El contenido de compuestos químicos en el diesel (Pb, S), sin excepción del ecuatoriano, que son causantes también causantes del desgaste prematuros de en las agujas de inyección.
- Requiere que se investigue que tipo de aguja de inyección (BOSCH, DENSO y DELPHI) posee un mayor desgaste a iguales condiciones iniciales (nuevos) y después que son dadas de baja por la casa comercial.



OBJETIVOS:

GENERAL

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

ESPECÍFICOS

→ Obtener información técnica bibliográfica con referencia al tema del proyecto.

→ Seleccionar tres marcas de inyectores (Bosch, Denso y Delphi), de vehículos y condiciones de servicio (nuevos y usados) diferentes.

→ Obtener mediciones de las rugosidades en condiciones iniciales y el desgaste final en la aguja del inyector, tanto en el cono como en el vástago, con la ayuda del rugosímetro.

→ Analizar los resultados obtenidos para generar conclusiones sugerentes.

HIPÓTESIS:

Con el uso 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.

INYECTORES CRDI:



BOSCH



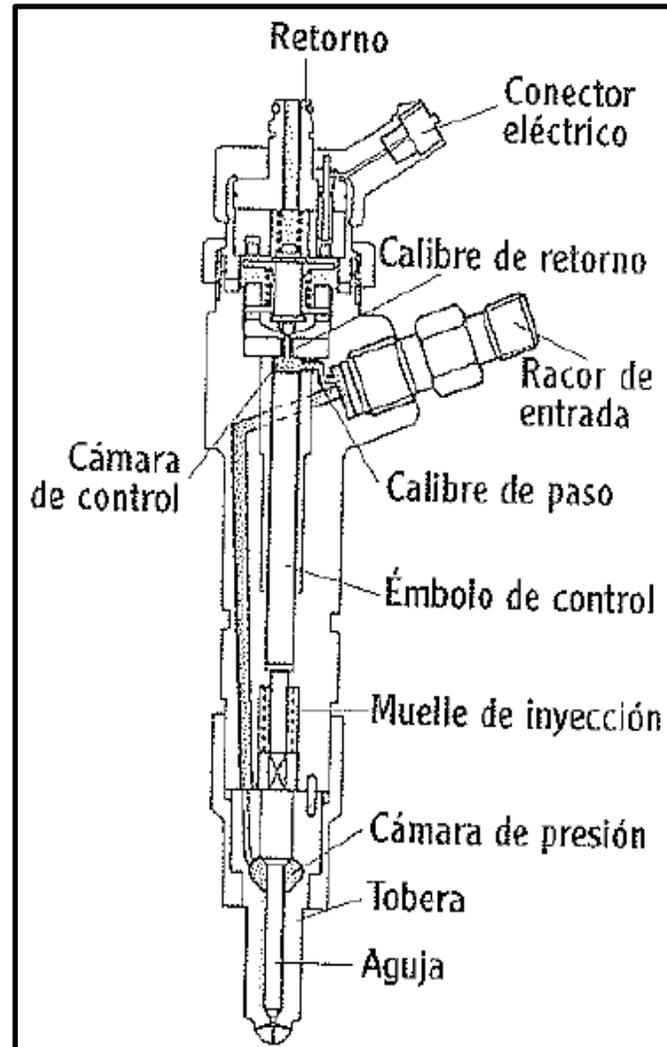
DELPHI



DENSO

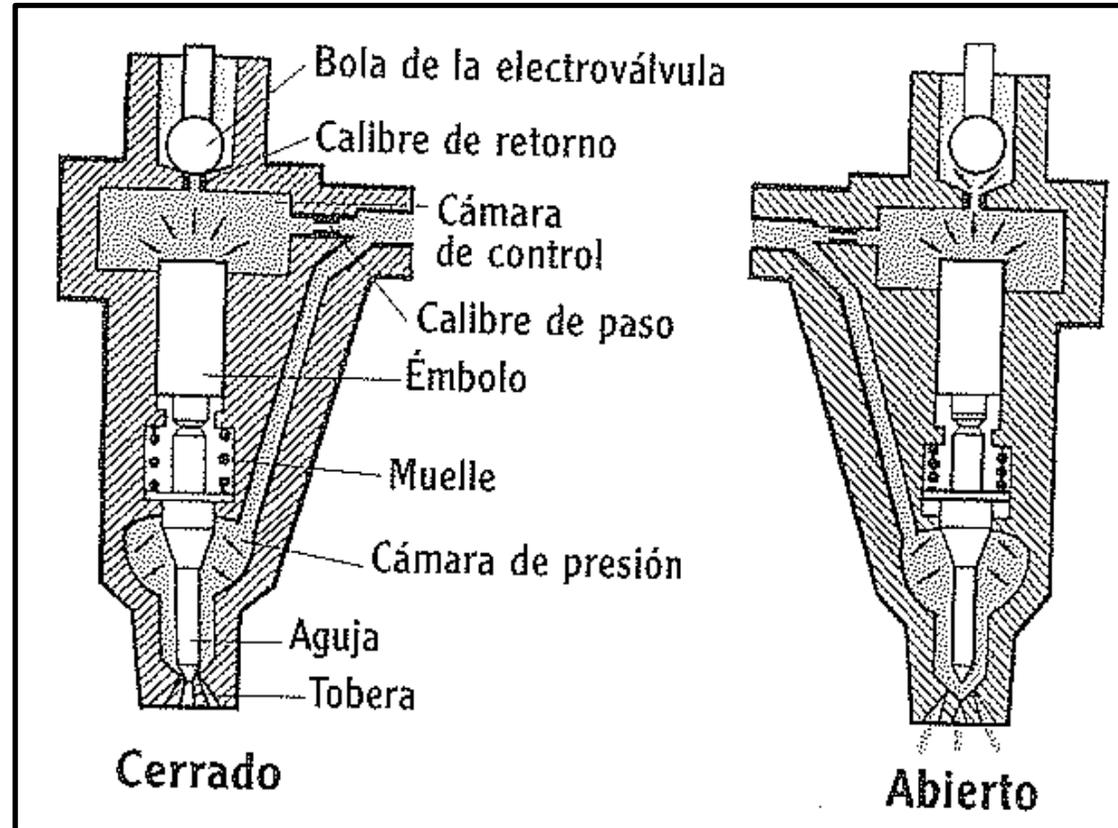
INYECTORES CRDI (PARTES):

Constituidos de una parte mecánica y otra eléctrica, similar a la inyección de gasolina; capaz de producir inyecciones de 2000 a 3000 bar.



INYECTORES CRDI (FUNCIONAMIENTO):

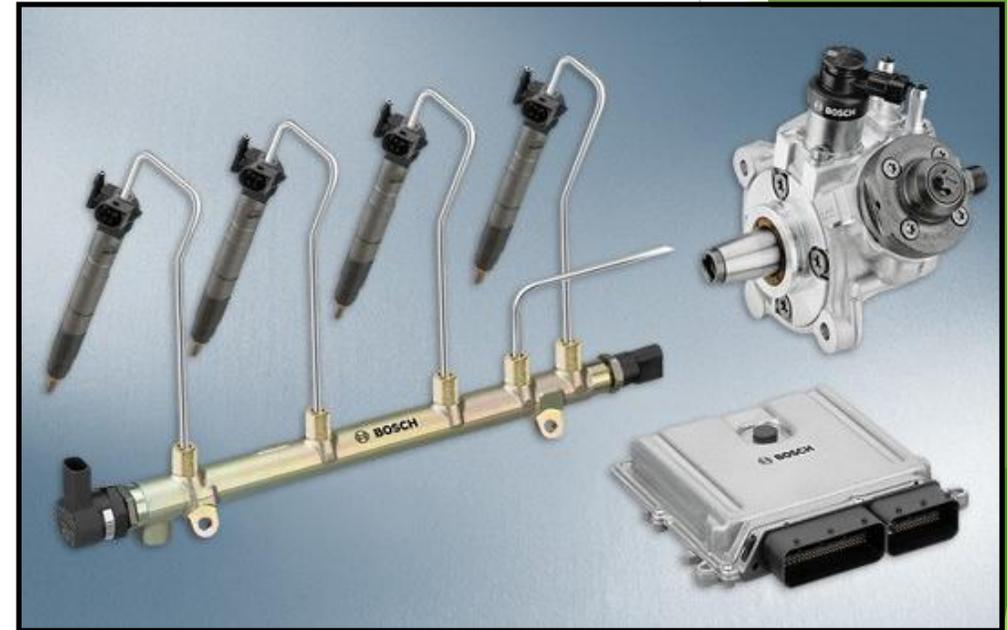
El combustible proveniente del riel se divide en dos: a la cámara de presión (levanta la aguja) y a la cámara de control (cara superior de la aguja).



Sistema de Inyección CRDI BOSCH:

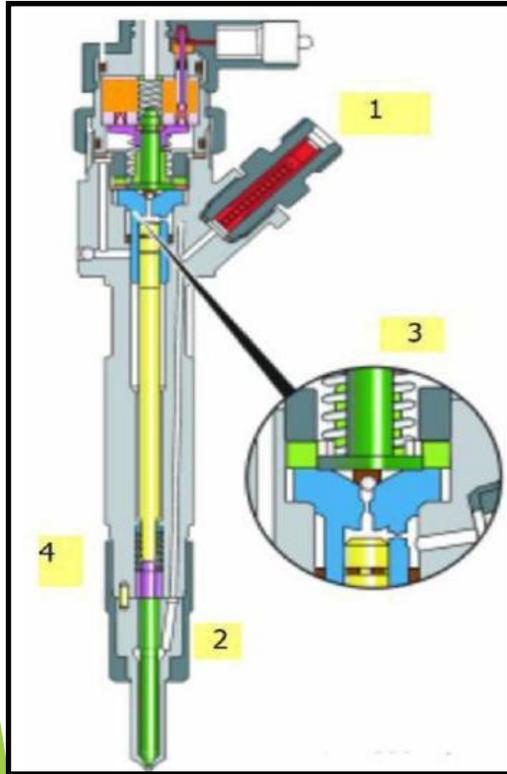
En comparación de los sistemas mecánicos por levas, mejora:

- ✓ La presión de la inyección es independiente del régimen de motor y del caudal de inyección.
- ✓ El conductor preestablece el caudal de inyección (aceleración) y la unidad de control electrónica (UCE) calcula en base a los campos característicos programados.
- ✓ Incrementa la potencia del motor, reduce el consumo de diésel y por ende disminuye los gases contaminantes y el ruido en el motor.
- ✓ La presión de inyección va desde 1400 a 2000 bar.
- ✓ Recibe señales principalmente de los sensores: CKP, APP, FRP, MAF.



Inyector BOSCH:

Electromagnéticos:



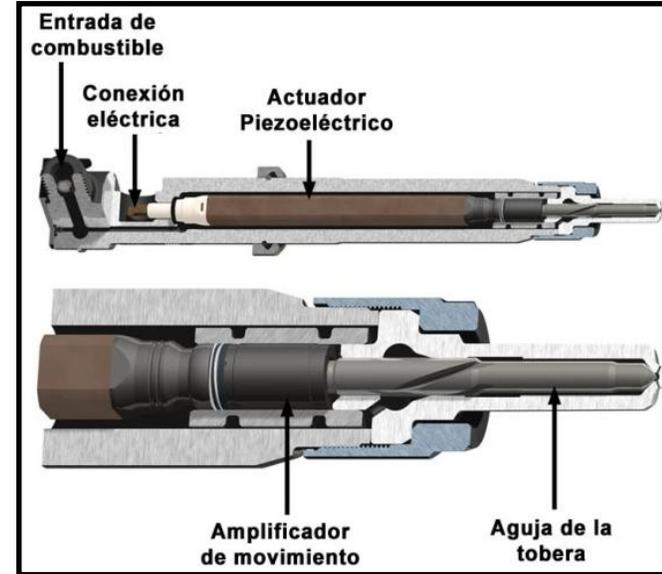
✓ Presión oscila entre los 2000 bar.

✓ Funcionan con electroimanes, que controlan a las electroválvulas, reguladas por la ECU.

✓ Necesitan 3 amperios de corriente para la activación.

✓ Para producir la variación de presión el solenoide actúa sobre el resorte 3.

Piezoeléctricos:



✓ Usa dos placas metálicas y un dieléctrico en medio (cuarzo).

✓ Al aplicar 70 voltios sobre el material piezoeléctrico por 0,2 ms, provoca una deformación y por ende el paso de diesel (Período de carga).

✓ Para invertir la deformación se aplica una corriente inversa, terminando la inyección (período de descarga).

✓ Velocidad de conmutación 5 veces mayor a los electromagnéticos.

✓ Mayor dosificación y menor emisiones de contaminantes.

Portatobera - tobera (BOSCH):



Portatobera

- ✓ Aloja a las toberas dentro del motor.
- ✓ Conduce el diesel desde el riel hasta la tobera



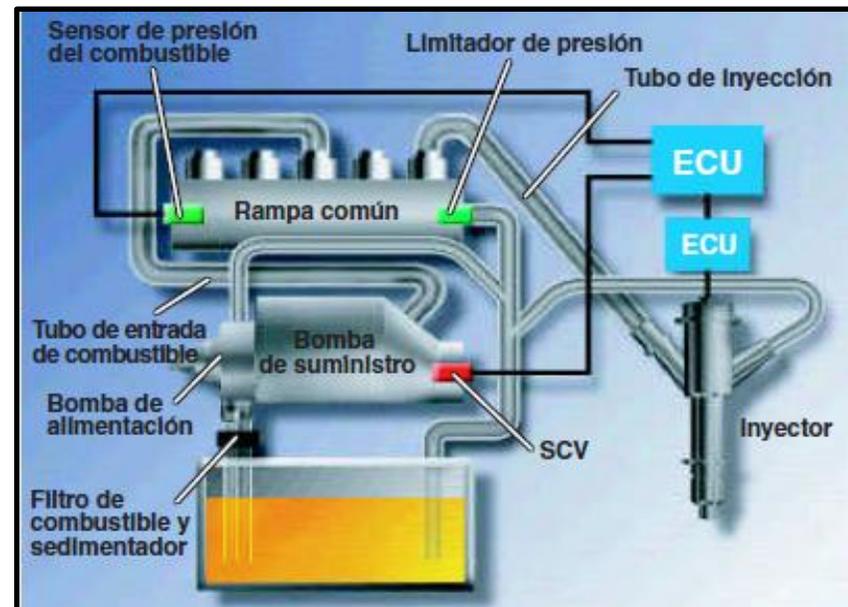
Tobera

- ✓ Encargados de la pulverización en la cámara de combustión del motor.
- ✓ Trabajan a altas presiones (2000 bar) y a elevadas temperaturas (entre 500 a 600 °C)
- ✓ Internamente poseen un recubrimiento de cromo el cual ayuda a que la inyección sea eficiente y se logre mayor potencia.

Sistema de Inyección CRDI DENSO:

En función de las condiciones de carga del motor diesel:

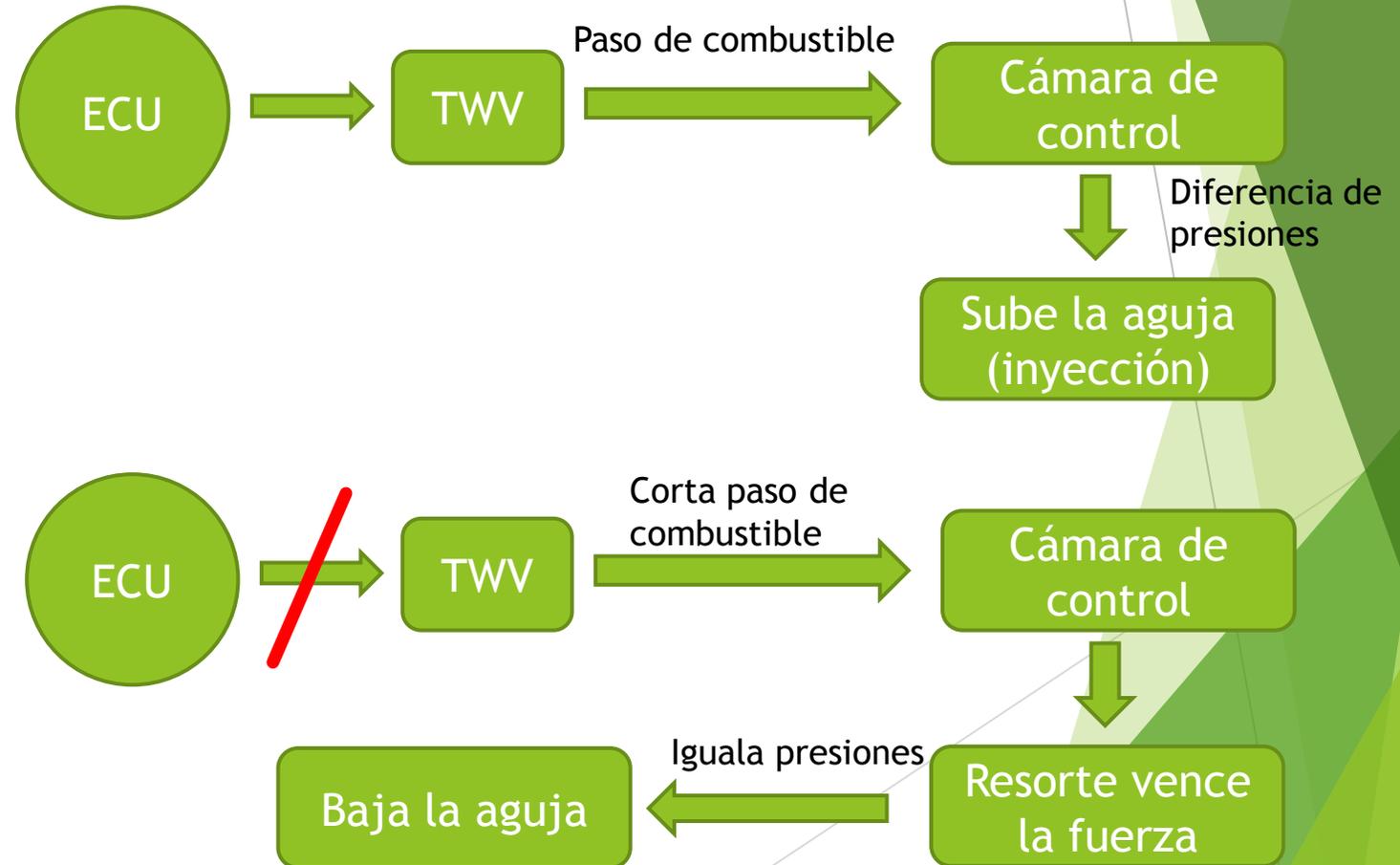
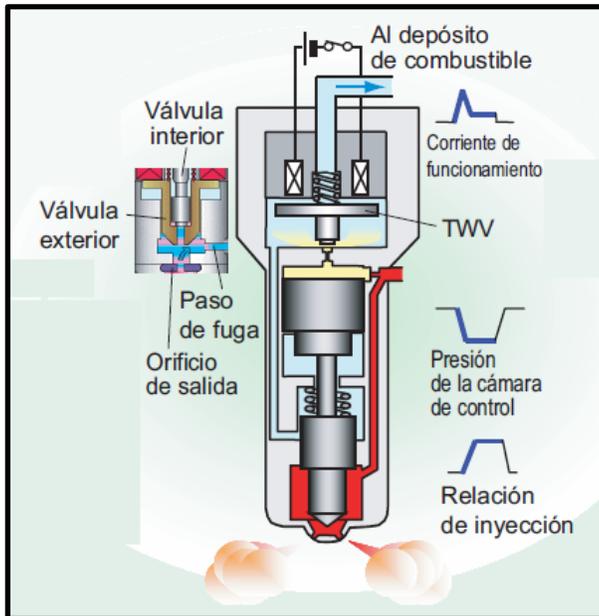
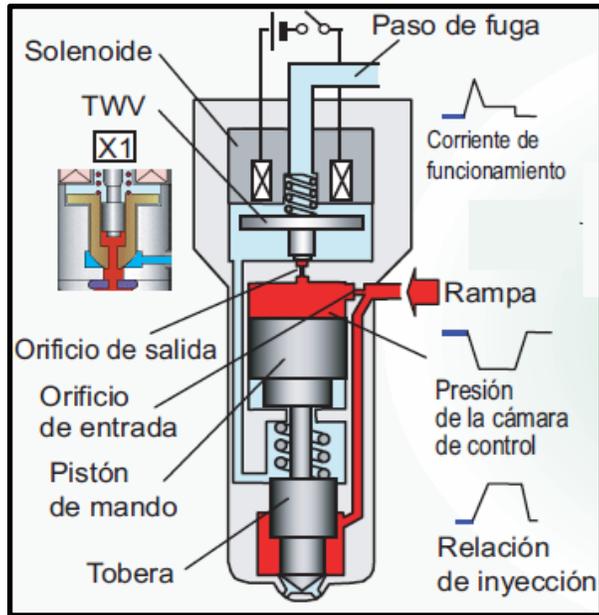
- ✓ Se puede obtener inyección de 200 bar (ralentí) y 1350 a 1500 bar (regímenes altos).
- ✓ La ECU del vehículo es vital por que regula la presión a través de los sensores SCV (válvula de control de aspiración en la bomba) y FRP (presión de combustible en el riel).



Inyector DENSO (funcionamiento):

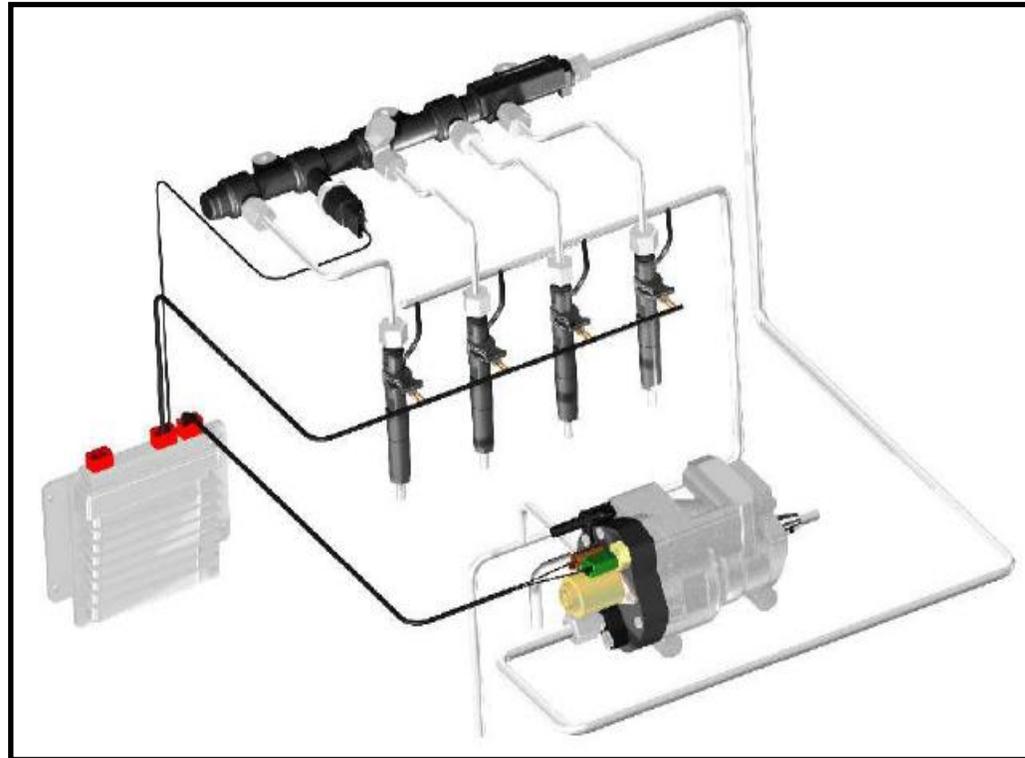
✓ La inyección se controla por la válvula TWV (cámara de control).

✓ La presión en la cámara de control = presión de la aguja = presión del riel (sin descarga)

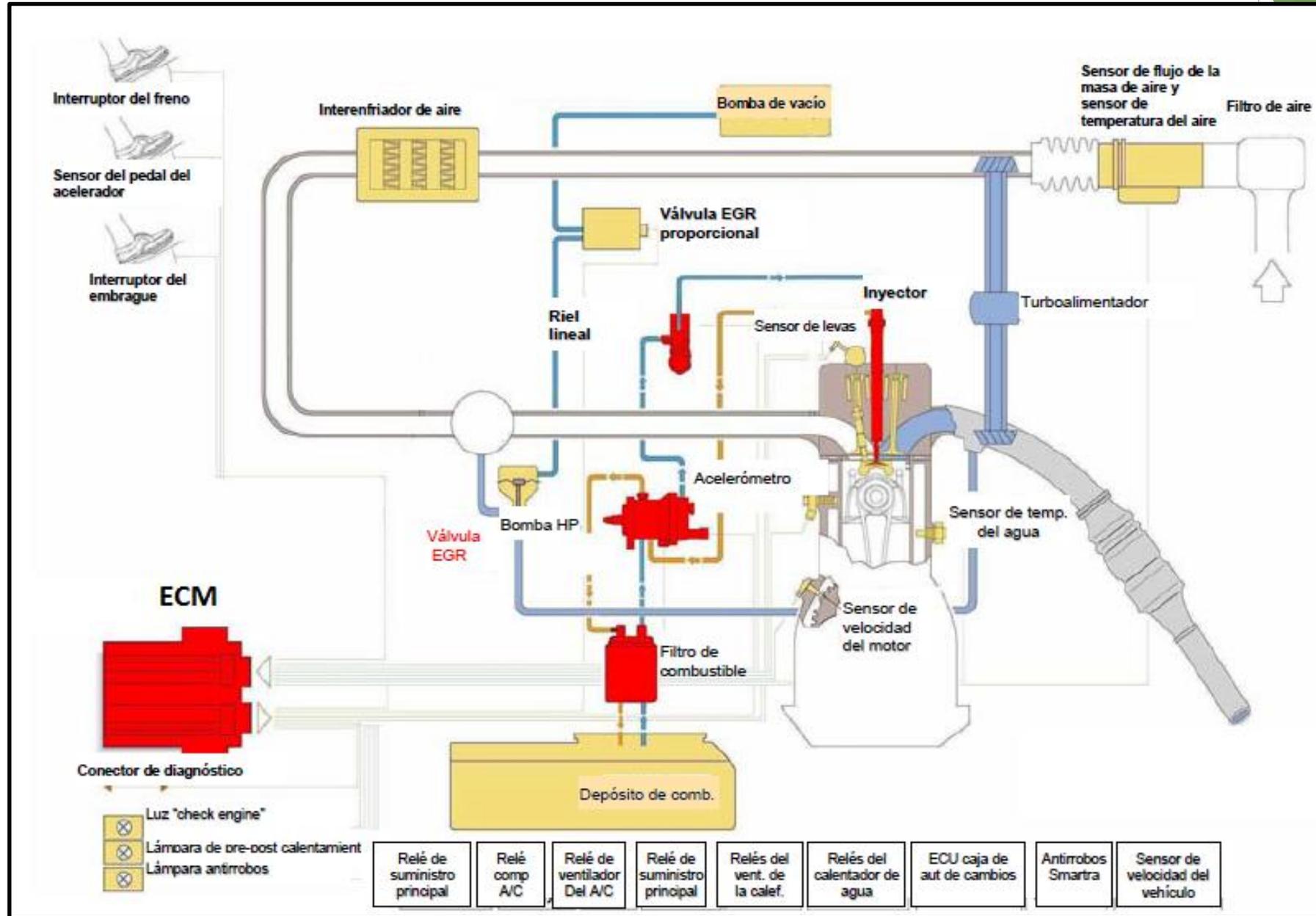


Sistema de Inyección CRDI DELPHI:

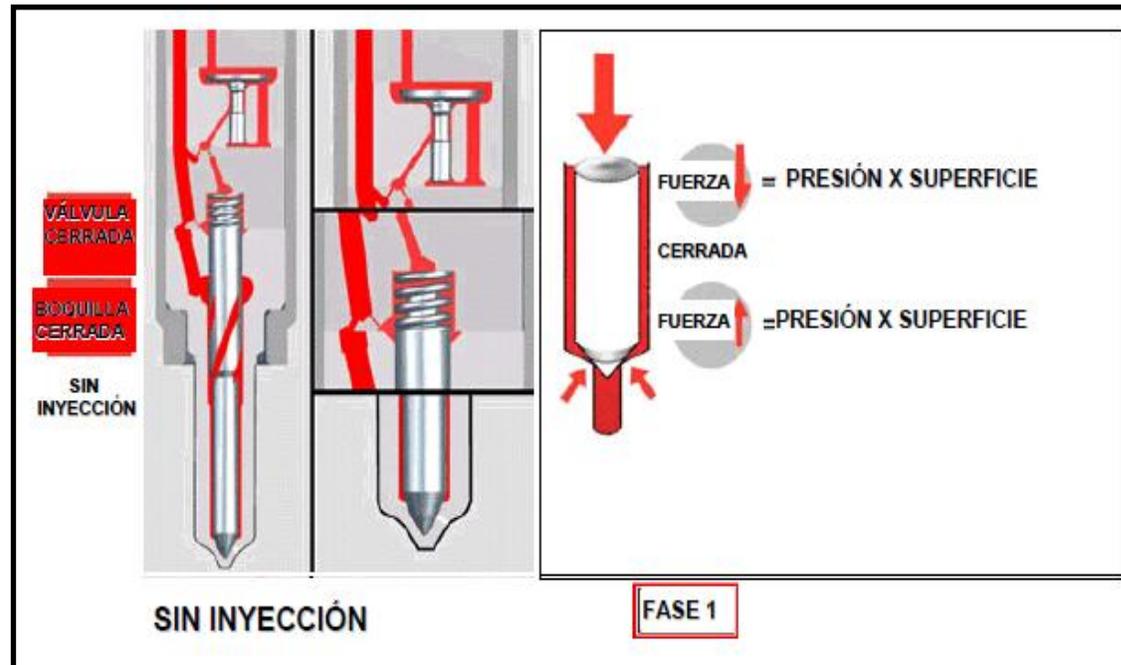
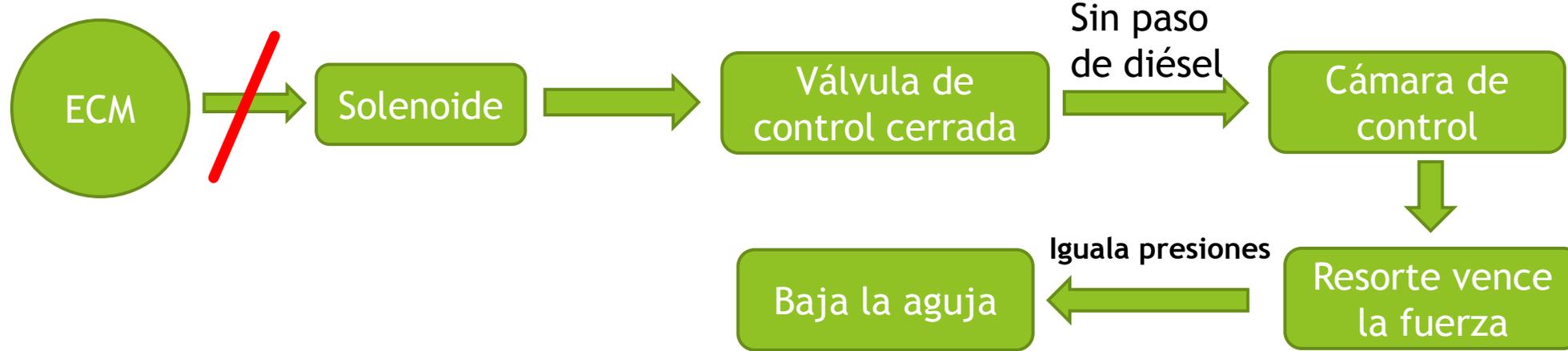
- ✓ Trabaja en condiciones similares a las de BOSCH.
- ✓ A carga baja presenta presiones de 200 bar y altas revoluciones del motor alcanza 1800 a 2100 bares.
- ✓ La ECU se encarga de la inyección de combustible por medio de las señales de los sensores: CKP, APP, FTS, FRP, presión del turboalimentador para que se logre la pulverización.



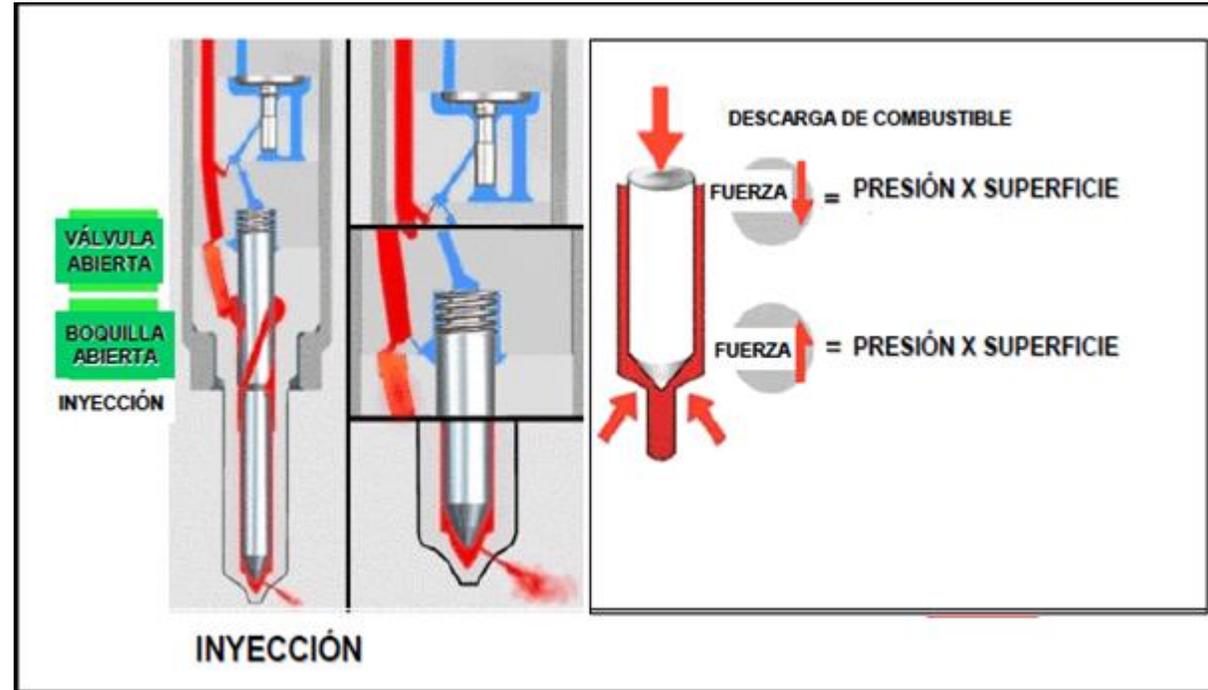
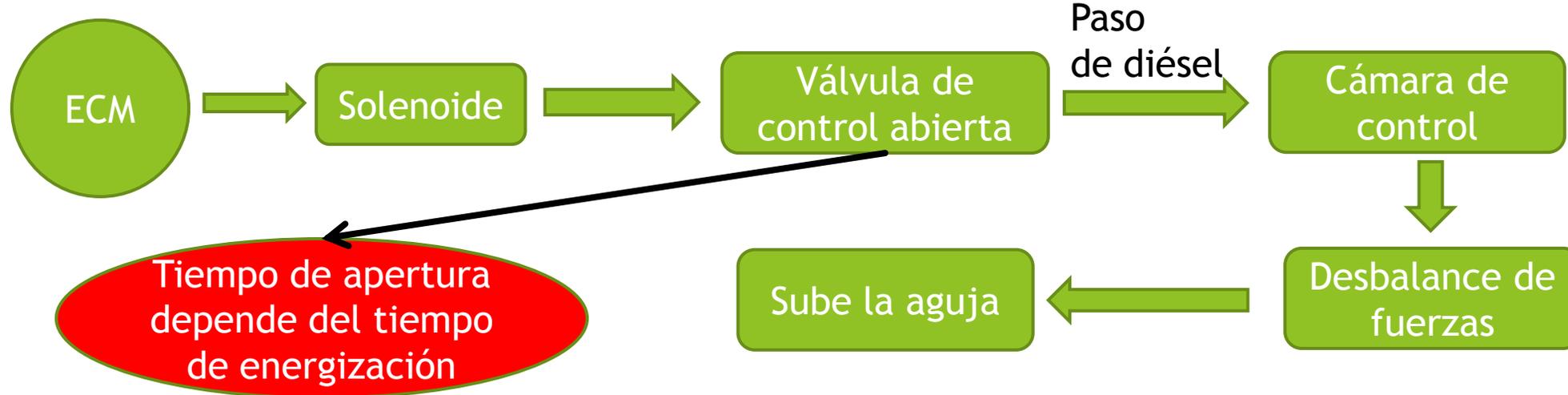
Inyector DELPHI (funcionamiento):



Inyector DELPHI (funcionamiento):

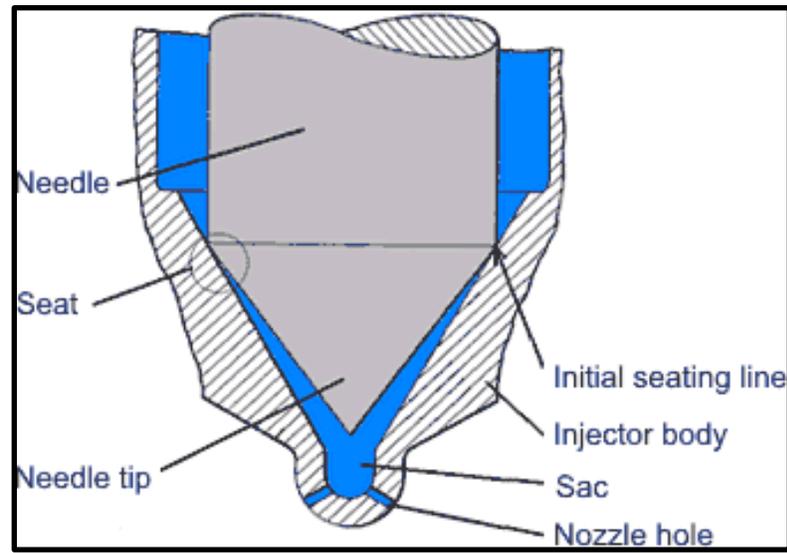


Inyector DELPHI (funcionamiento):

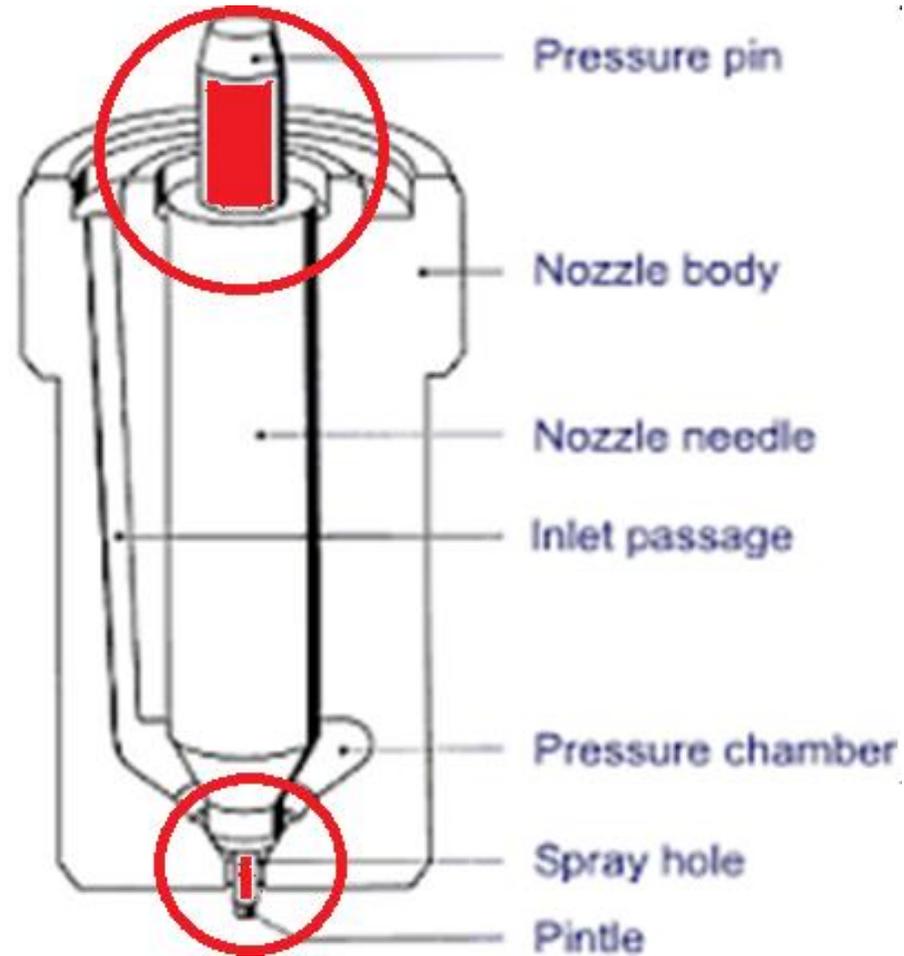


Portainyectores - toberas:

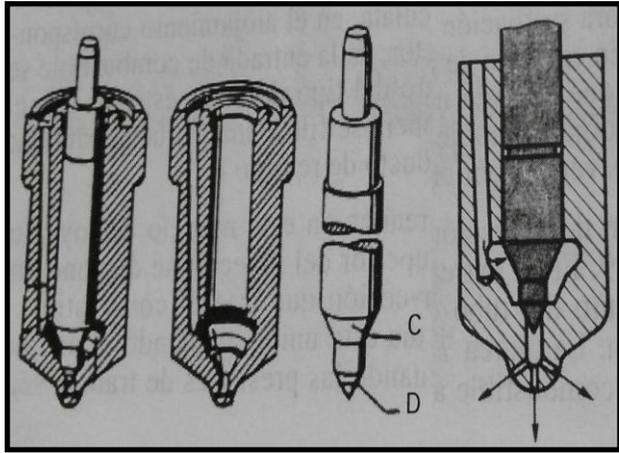
- ✓ Lugar en donde se genera la inyección del combustible hacia las cámaras de combustión.
- ✓ El combustible en el momento de la inyección a grande presión, hace que las partículas tengan movimientos rápidos en sentidos paralelo y transversal al eje del orificio de la tobera, dándose movimientos y velocidades irregulares lo que genera turbulencia, y al salir de la tobera al no encontrar la pared guía, se forma el cono de pulverización.



Portainyectores - toberas (desgaste):

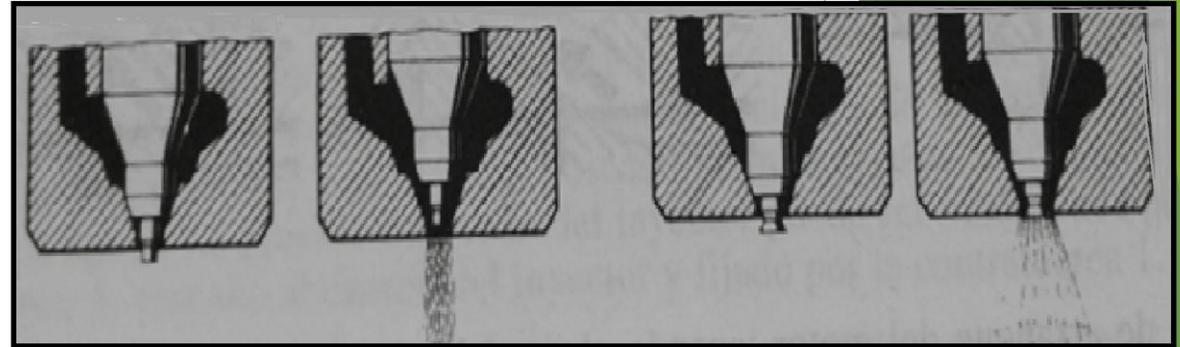


Agujas de inyección(tipos):



De orificio

- ✓ Soportan inyecciones superiores a 1500 bar.
- ✓ Se usa en sistemas GDI.
- ✓ Poseen dos secciones cónicas (C) para el levantamiento de la aguja y (D) para producir estanqueidad normal.



De tetón o espiga

- ✓ Soportan inyecciones de 900 a 1200 bar.
- ✓ Se usa en sistemas indirectos (precámaras).
- ✓ Posee una pequeña espiga en la aguja la cual se encarga de la inyección por la oscilación de la misma.

Agujas de inyección (detalle de acabado superficial):

- ✓ Influye en la calidad de la pulverización.
- ✓ Así como también el acabado de los agujeros de inyección en el portainyector.
- ✓ Diferente maquinado y fabricado de marca a marca (cambios).
- ✓ Un mayor desgaste de cono y vástago incide en la cantidad de combustible que se inyectará (fugas o estanqueidad).
- ✓ Una aguja de inyección pierde una vida útil cuando sobrepasa el desgaste de 10 micras.



Agujas de inyección (material):

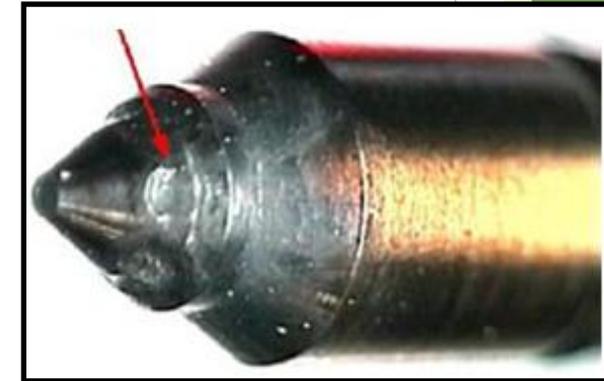
BOSCH							
Material	Nominación DIN	Nombre abreviado	Composición principal	Dureza HV (orientativa)		Características	Indicaciones
				superficie	núcleo		
Acero de cementación cementado y revenido	17210	18CrNi8	0,18 C	700	450	Los valores característicos de los materiales medidos en pruebas de tracción no son apropiados para un dimensionado de componentes duros	- Alta resistenci a al desgaste. - Alta resistenci a a la fatiga. - Posibilid ad creciente de temple.
			1,8 Cr				
			1,8 Ni				
			0,4 Mn				
			0,035 P				
0,035 S							
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 medidos en pruebas de tracción no son apropiados para un dimensionado de componentes duros	- Alta resistencia a la fatiga. - Alta resistencia al desgaste. - Resiste ncia al desgaste en caliente	
			0,2 Si				
			0,15 Mn				
			0,03 P				
			0,03 S				
			3,8 Cr				
			4,5 Mo				
			1,75 V				
5,5 W							

Agujas de inyección (material - propiedades):

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

Agujas de inyección (averías):

Conjunto	Pieza	Averías
Conjunto de la tobera	Aguja (cono - vástago)	Marcha mínima irregular.
		No desarrolla el motor.
		Complicado arranque en frío
		Alto consumo de combustible.
		Emisiones de humos negros en el escape.
	Cuerpo de tobera	Aumento de temperatura del motor.
		Mayor ruido del motor.
		Pérdida de potencia a altas velocidades.
		Alto consumo de combustible.
		No desarrolla el motor.
Cuerpo de tobera	Mayor ruido del motor.	
	Aumento de temperatura del motor.	
	Dificultad al arranque en frío.	



Pruebas básicas en inyectoros:

PRUEBA DE ZUMBIDO

FORMA DE CHORO

PRESIÓN DE APERTURA DEL
INYECTOR

GOTEO POR INYECTOR



Según el fabricante, va desde 175 a 180 bar.

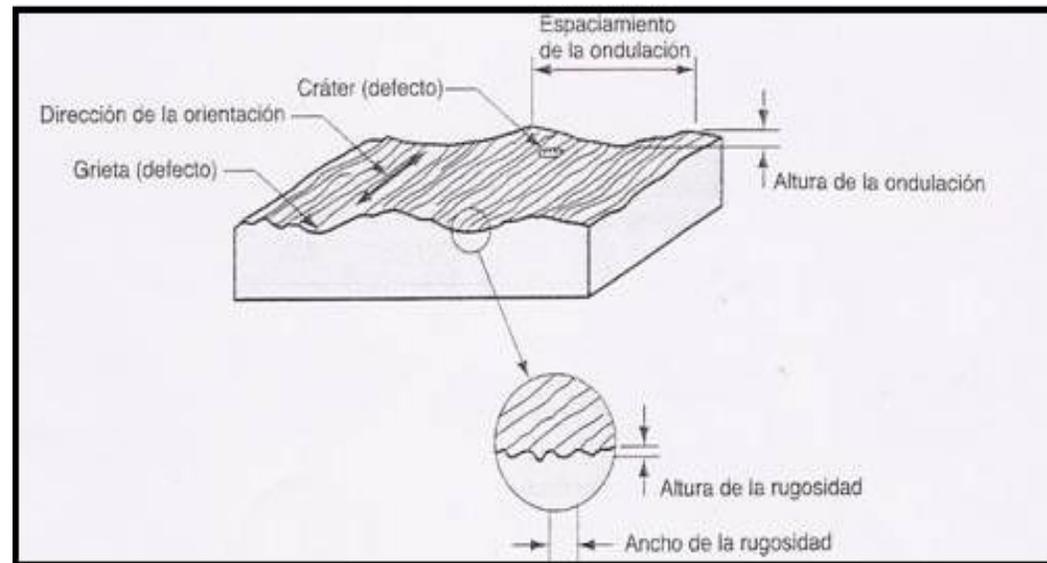
Mantener la presión 175 a 180 bar, por cierto tiempo (según el fabricante), sin goteos.

RUGOSIDADES SUPERFICIALES

Huellas o marcas dejadas por agentes que atacan la superficie (proceso de mecanizado, rozamiento entre dos o más piezas mecánicas, partículas abrasivas y tratamientos térmicos).

NORMAS QUE RIGEN EL PROCESO DE FABRICACIÓN DE PIEZAS MECÁNICAS

- ISO 468:1982
- ISO 4287:1997
- ISO 1302:1978



CLASES 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

- **N1-N4:** Superficie Especular
- **N5-N6:** Las Huellas de la superficie solamente se aprecian con lupa.
- **N7-N8:** Las Huellas de la superficie se aprecian con la vista.
- **N9-N12:** Las huellas de la superficie se aprecian con la vista y el taco.

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.

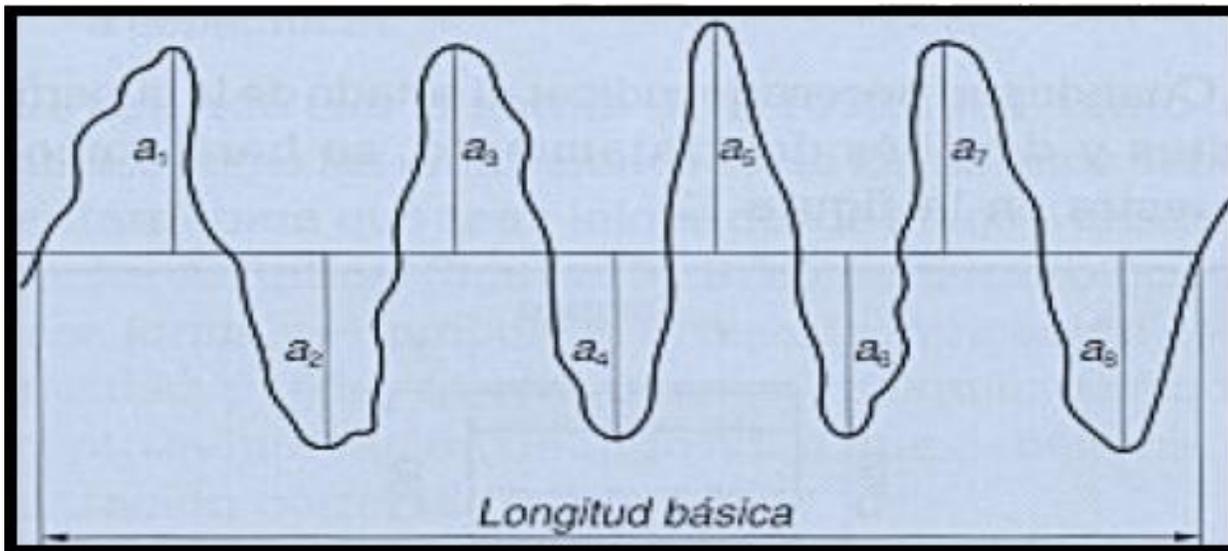
CLASE DE RUOSIDAD-PROCESO DE FABRICACIÓN

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			█	█	█	█	█	█						

PARÁMETROS DE RUGOSIDAD

Rugosidad media aritmética (Ra):

Es la media aritmética de las desviaciones de la curva del perfil, con respecto a la línea media de la longitud básica.



Ecuación:

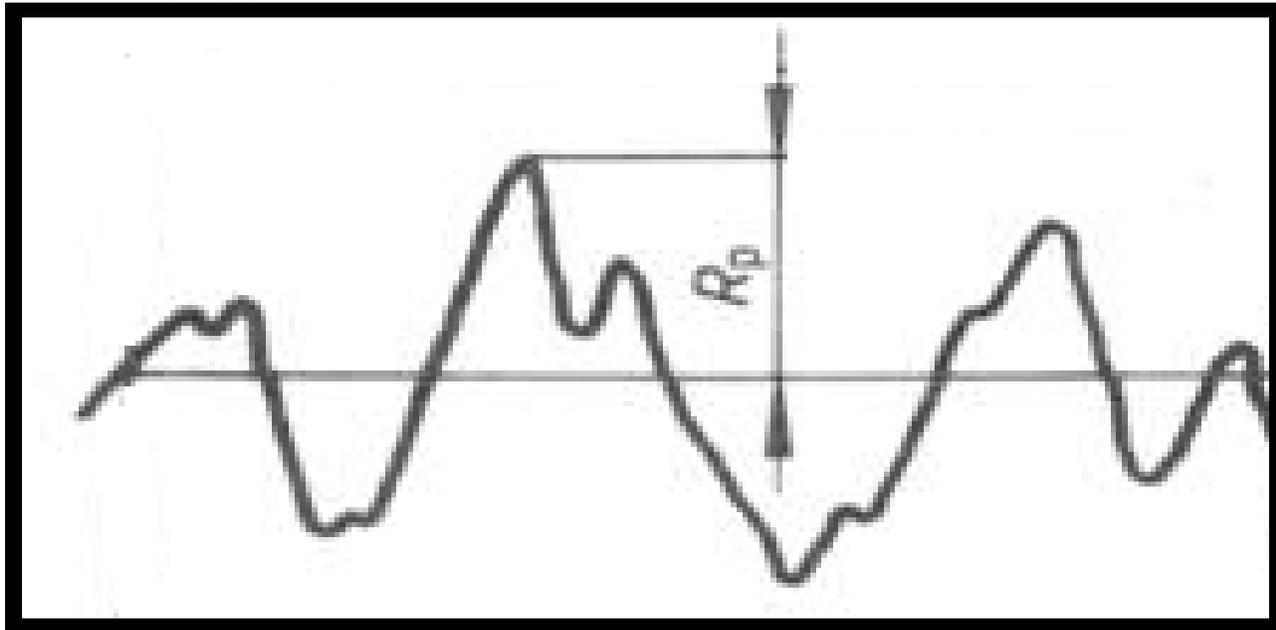
$$Ra = \frac{1}{Lm} \int_0^{Lm} |y| dx$$

Ventajas del parámetro (Ra) en las toberas de 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.

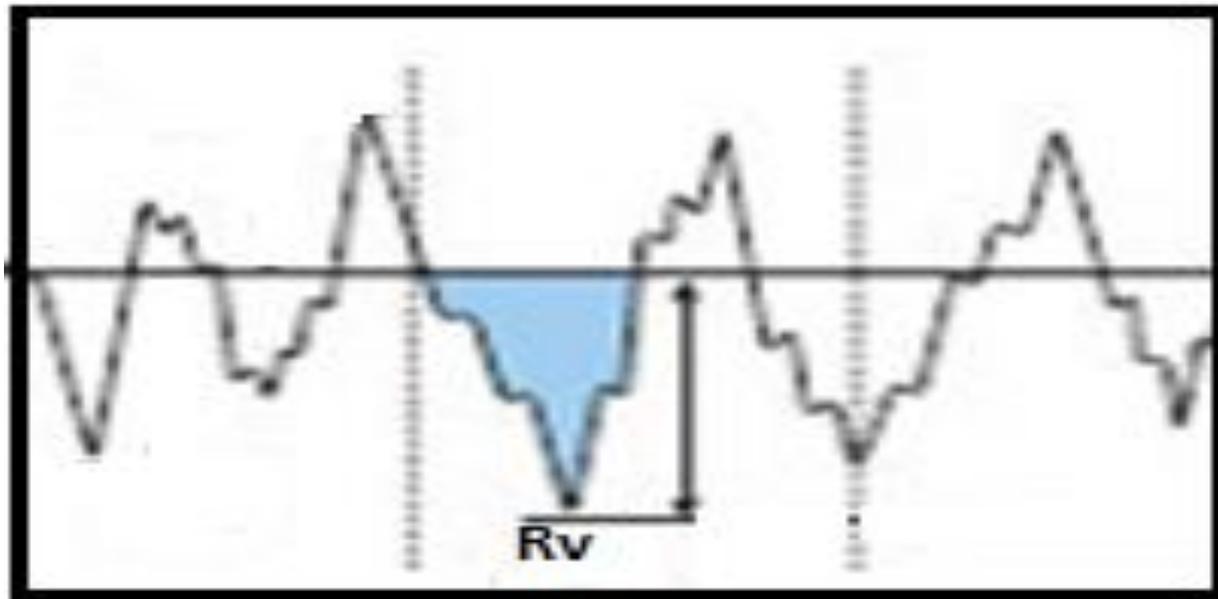
Parámetro de Rugosidad (R_p)

Es la distancia del pico más alto con respecto a la línea media que se determina en el gráfico de rugosidad medido.



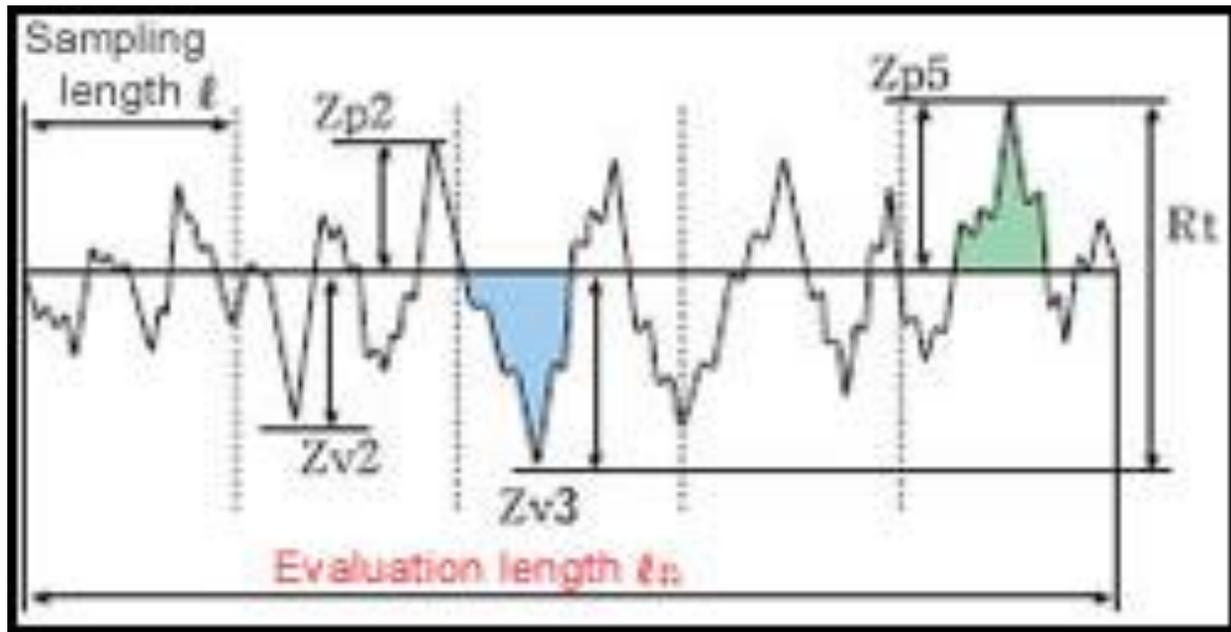
Parámetro de Rugosidad (Rv)

Es la distancia del valle más profundo con respecto a la línea media que se determina en el gráfico de rugosidad medido.



Parámetro de Rugosidad (Rt)

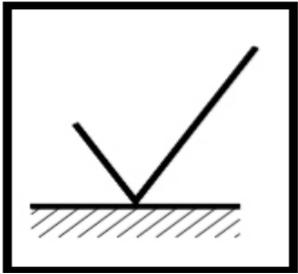
Es la distancia que existe entre el pico más alto y el valle más profundo con respecto a la línea media.



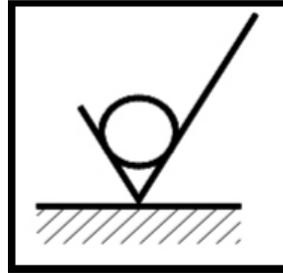
Ecuación:

$$R_t = Z_{p5} + Z_{v3}$$

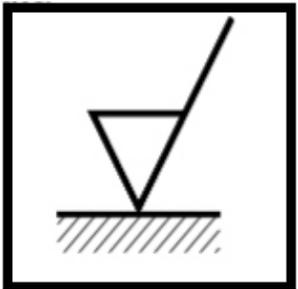
Indicación de los Estados Superficiales



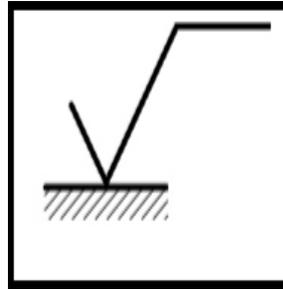
Símbolo (a)



Símbolo (c)

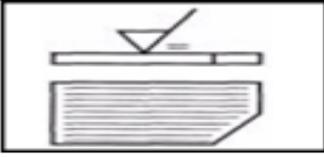
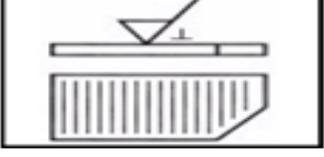
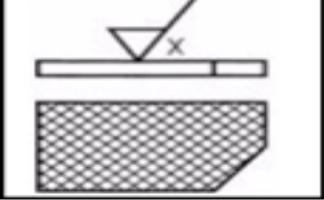
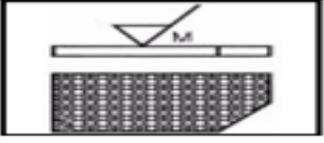
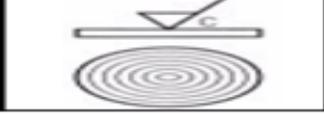
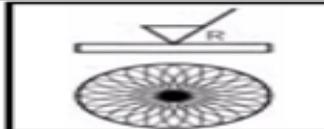


Símbolo (b)

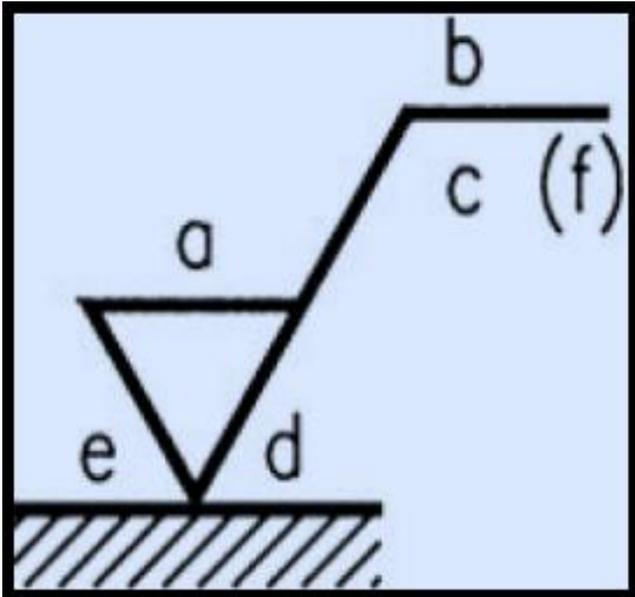


Símbolo (d)

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.	

Simbología



- (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.

Métodos para Medir la Rugosidad

- Métodos Cualitativos o Visotáctiles

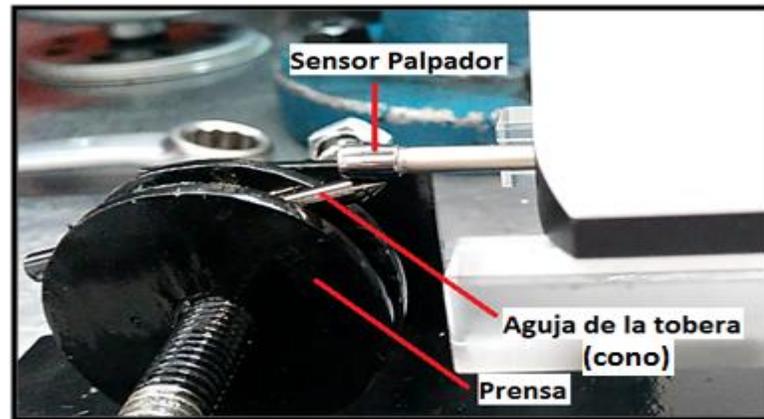
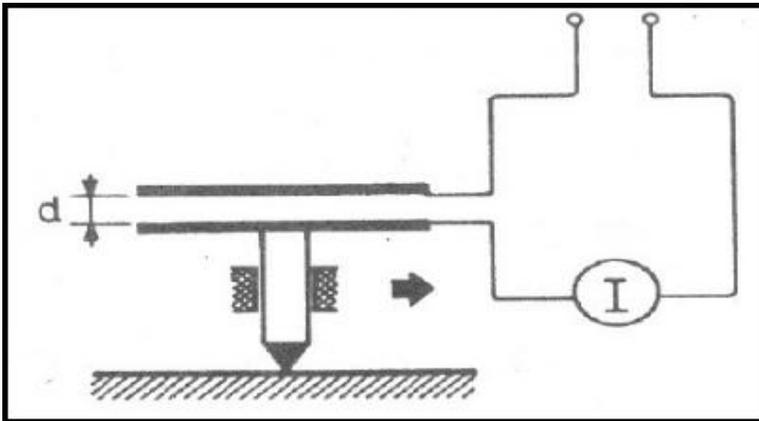
- a. Observación táctil
- b. Observación visual sin óptica
- c. Observación visual con óptica

- Método Cuantitativo

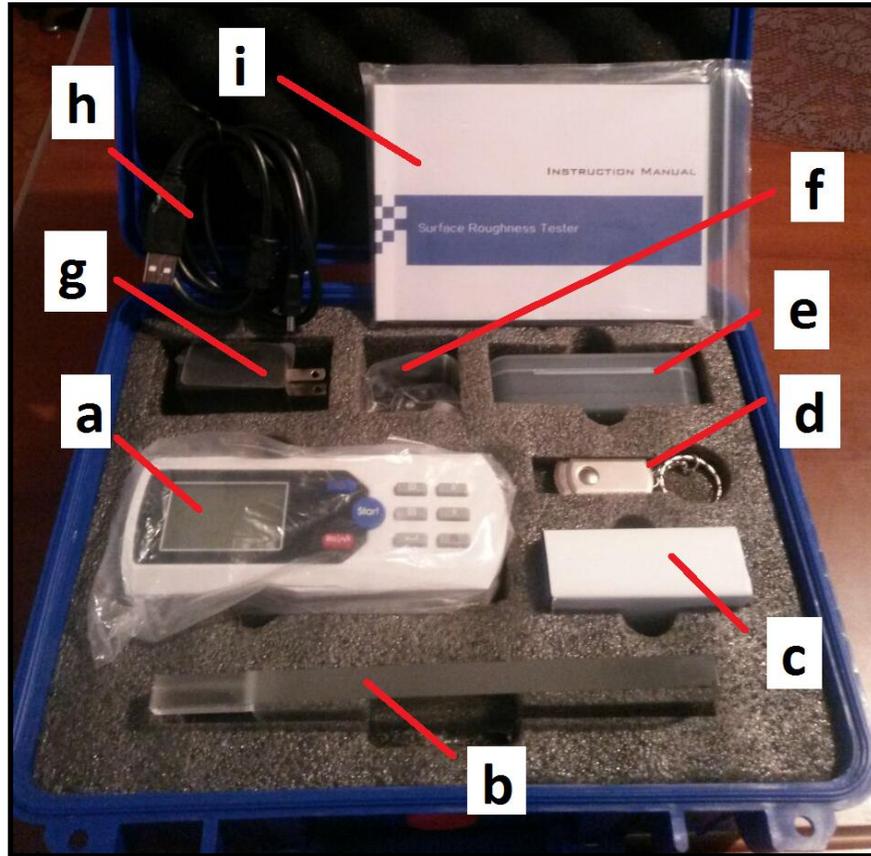
- a. Rugosímetro de palpador mecánico
- b. Rugosímetro de palpador inductivo
- c. Rugosímetro de palpador capacitivo
- d. Rugosímetro de palpador piezoeléctrico
- e. Rugosímetro de patín mecánico

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.



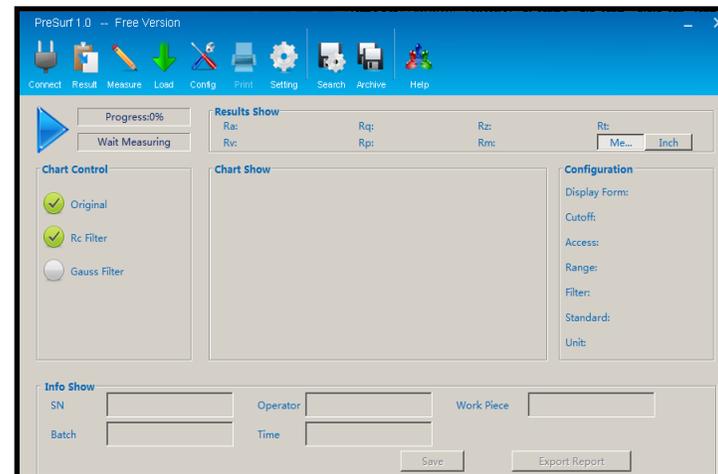
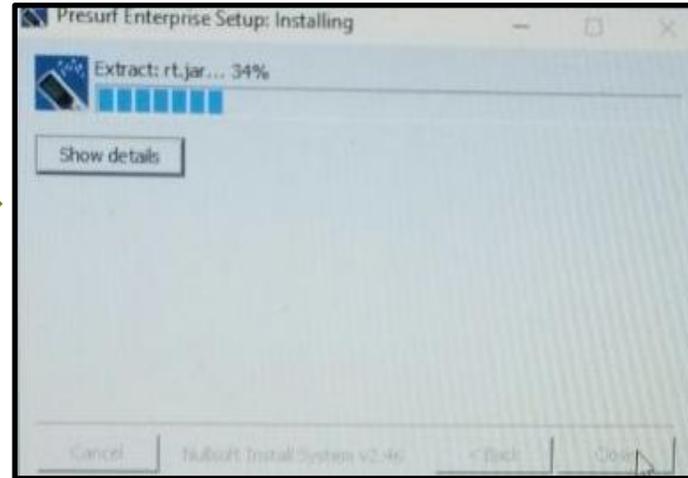
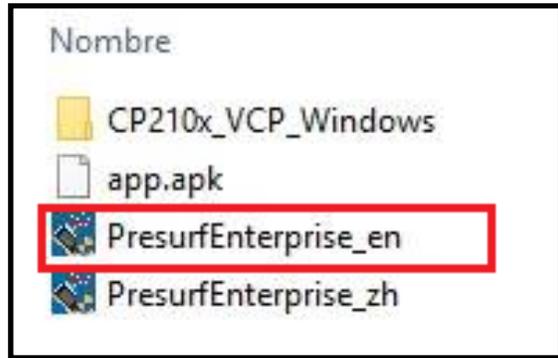
Preparación del rugosímetro: (Partes del kit)



- 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.

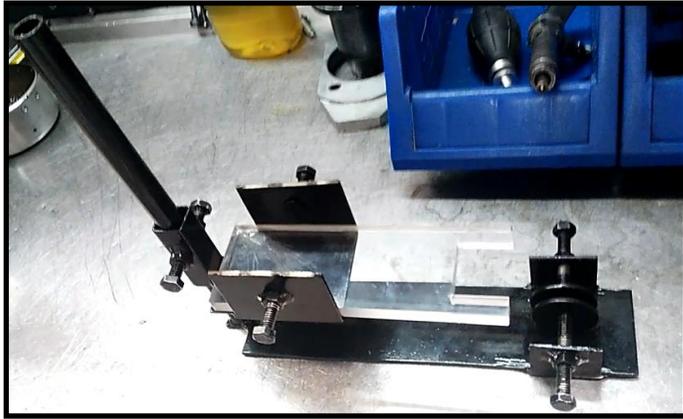
Preparación del rugosímetro: (Pasos)

1. Instalar el software PresurfEnterprise en la PC:

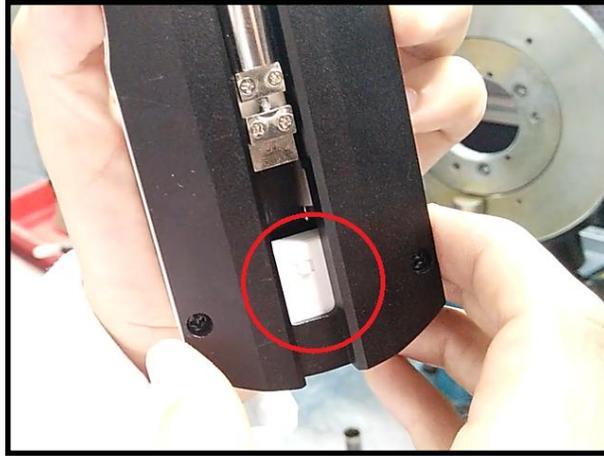


Preparación del rugosímetro: (Pasos)

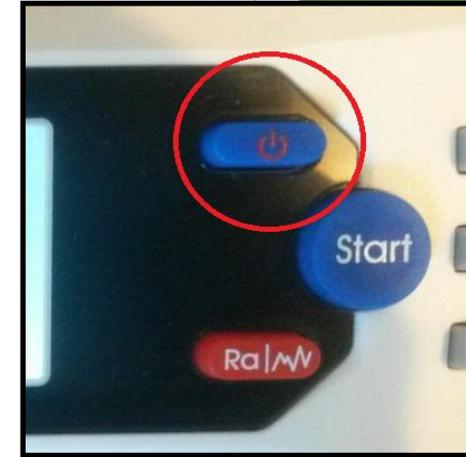
2. Ubicar el pedestal:



4. Paso de energía en ON:



6. Paso de energía en ON:



3. Conectar el sensor palpador al aparato:



5. Ubicación del rugosímetro:



7. Conectar al PC:

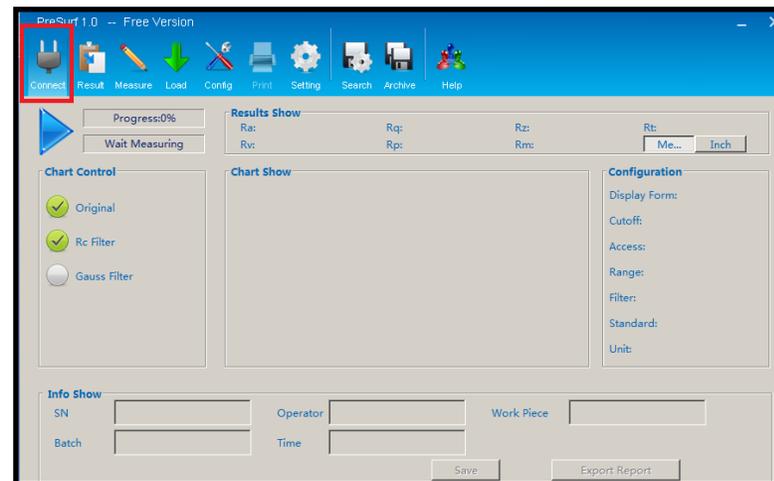


Preparación del rugosímetro: (Pasos)

7. Encerar el rugosímetro:



8. Realizar las mediciones vía PC:



Especificaciones de los Inyectores CRDI (BOSCH, DELPHI Y DENSO).

Inyector marca BOSCH (Mazda BT-50 2.5)

- Sistema de inyección CRDI
- Motor de 4 cilindros de 2.5 cc
- Potencia máxima de 105 KW
- Los inyectores trabajan con presiones máximas de 1350 bares
- Una tolerancia de 0.002 mm en sus piezas mecánicas.
- Tiempo de inyección de 1 a 2 milisegundos
- Velocidad de inyección 2000 Km/h.
- Cambio de tobera a partir de los 60.000 a 90.000 Km de recorrido.



Inyector marca DELPHI (Hyundai Terracan 2.9)

- Sistema de inyección CRDI
- Motor de 4 cilindros de 2.9 cc
- Potencia máxima de 163 HP
- Los inyectores trabajan con presiones máximas de 1600 bares
- Tienen baja resistencia de 0.2 ohm.
- Trabajan con una tensión de 12 V.
- Para su apertura necesitan una corriente entre 6 a 12 Amperios.
- Cambio de tobera a partir de los 60.000 a 90.000 Km de recorrido.



Inyector marca DENSO (Toyota Hilux 3.0)

- Sistema de inyección CRDI
- Motor de 4 cilindros de 3.0 cc
- Potencia máxima de 171 HP
- Los inyectores trabajan con presiones máximas de 1800 bares
- Su resistencia varía de 0.8 a 1 ohm.
- Trabajan con una tensión de 5 V.
- Para su apertura necesitan una corriente de 12 Amperios.
- Cambio de tobera a partir de los 60.000 a 90.000 Km de recorrido.



Despiece de inyectores:

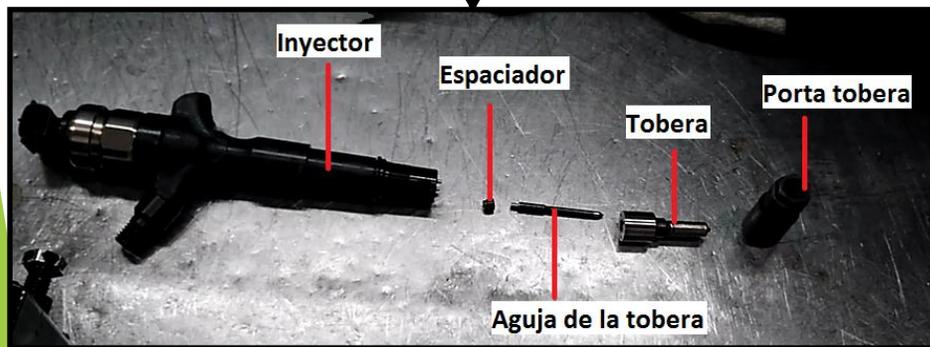
1. Uso de la prensa



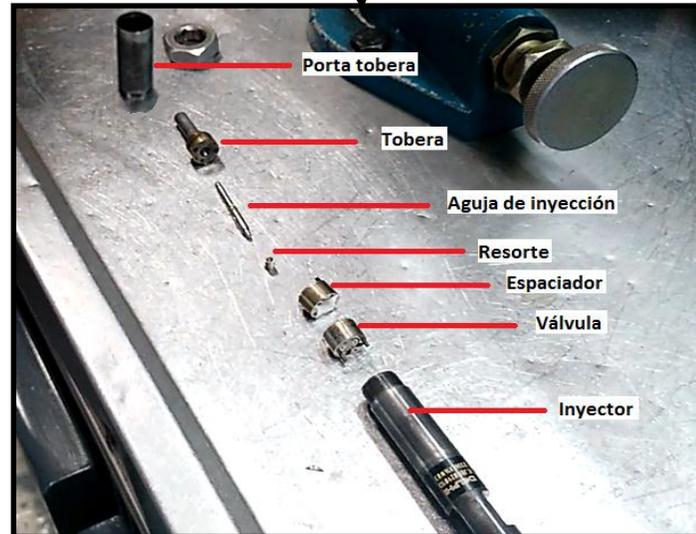
2. Uso de llaves



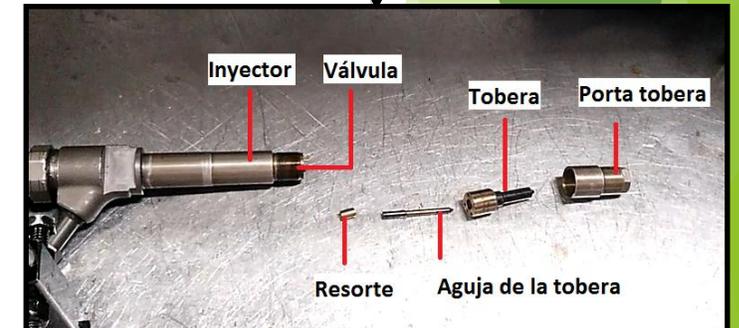
3. Extracción manual



Despiece inyector DENSO



Despiece inyector DELPHI

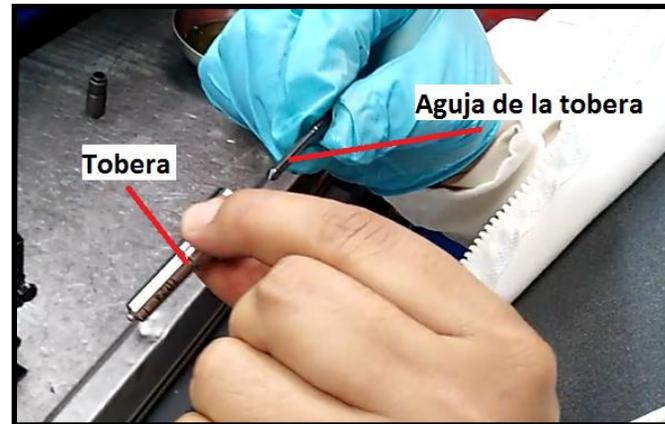


Despiece inyector BOSCH

Medición rugosidad agujas nuevas:



Aguja nueva BOSCH

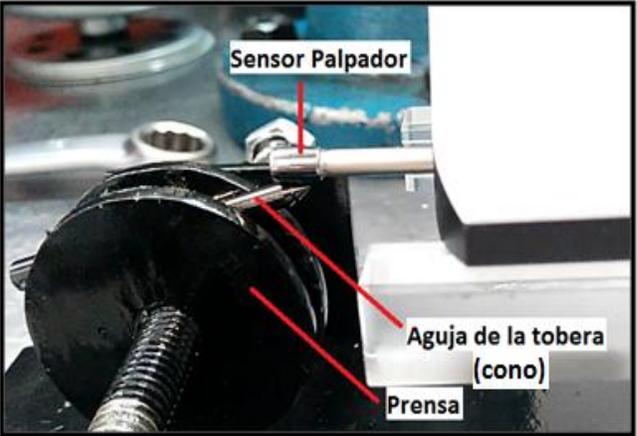


Aguja nueva DENSO



Aguja nueva DELPHI

Mediciones aguja BOSCH (nuevo)



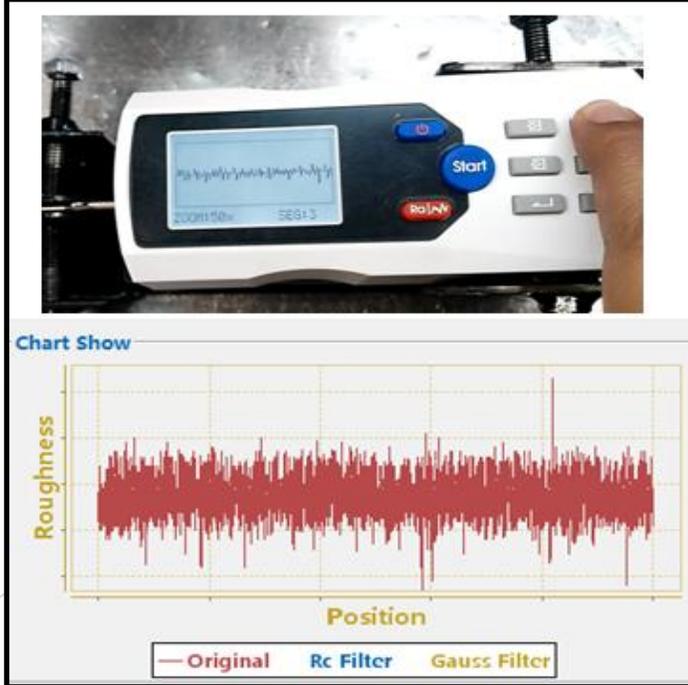
MEDICIONES DE CONO Y VÁSTAGO (AGUJA NUEVA)

Rugosidad del cono de la aguja (μm)

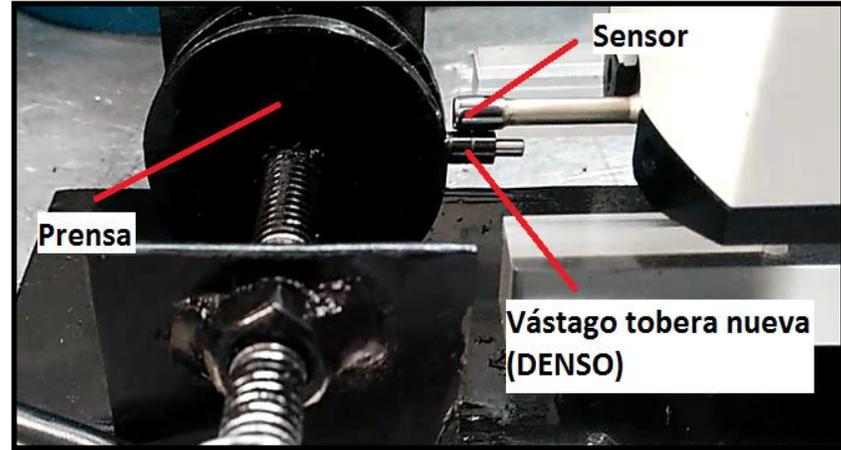
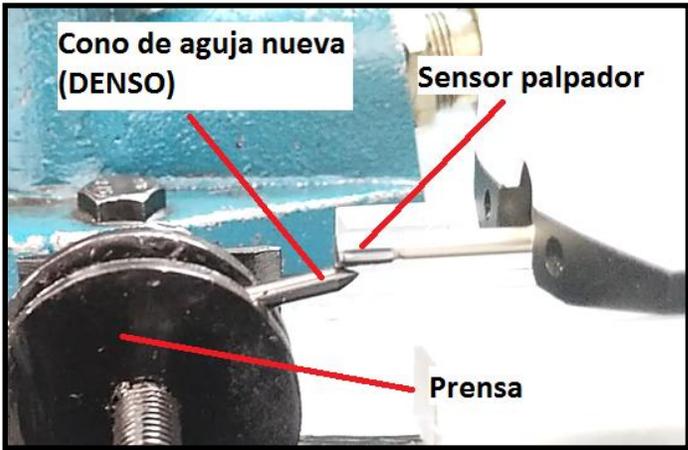
Ra	Rq	Rt	Rz	Rp	Rv	Rm
0.066	0.089	0.596	0.913	0.308	0.288	0.288

Rugosidad del vástago de la aguja (μm)

1.188	1.645	5.345	16.426	2.559	2.786	2.786
--------------	-------	-------	--------	-------	-------	-------



Mediciones aguja DENSO (nuevo)



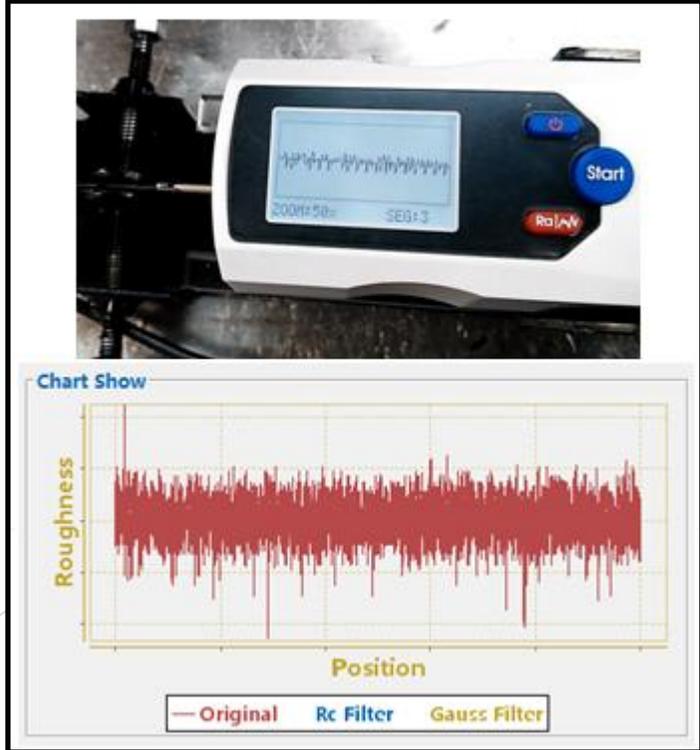
MEDICIONES DE CONO Y VÁSTAGO (AGUJA NUEVA)

Rugosidad del cono de la aguja (μm)

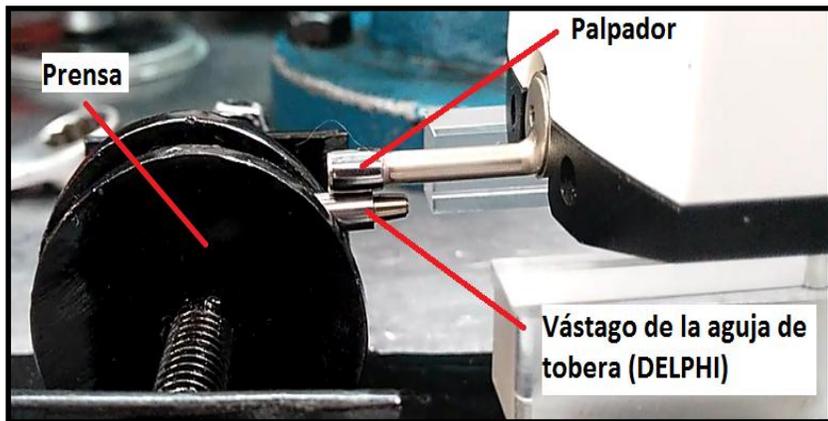
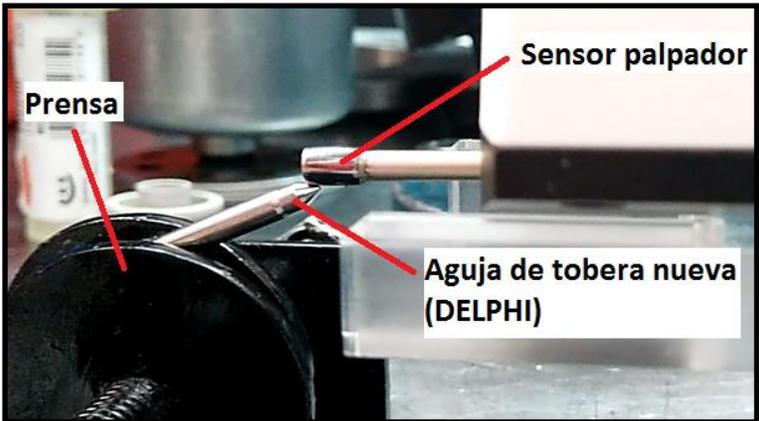
Ra	Rq	Rt	Rz	Rp	Rv	RS
0.068	0.088	0.576	0.892	0.264	0.312	0.312

Rugosidad del vástago de la aguja (μm)

0.093	0.121	0.807	1.926	0.365	0.442	0.442
-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

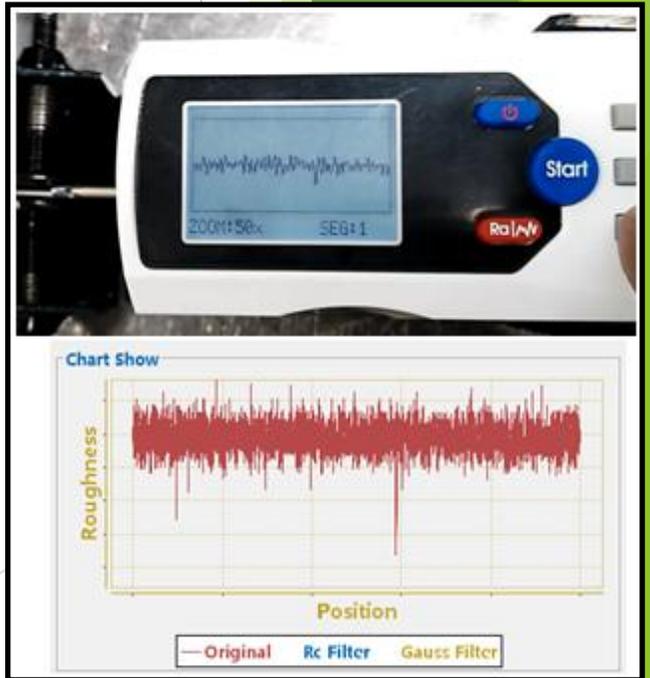


Mediciones aguja DELPHI (nuevo)



MEDICIONES DE CONO Y VÁSTAGO (AGUJA NUEVA)

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



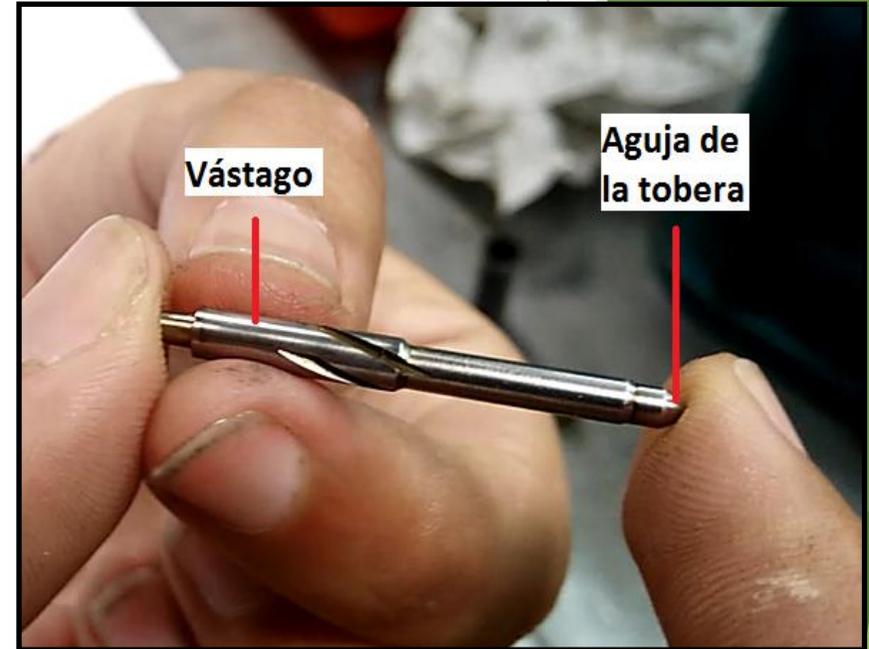
Medición rugosidad agujas usadas:



Aguja BOSCH

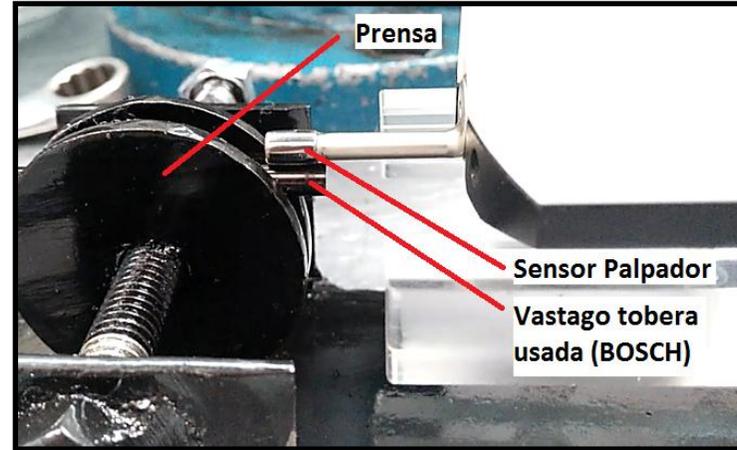
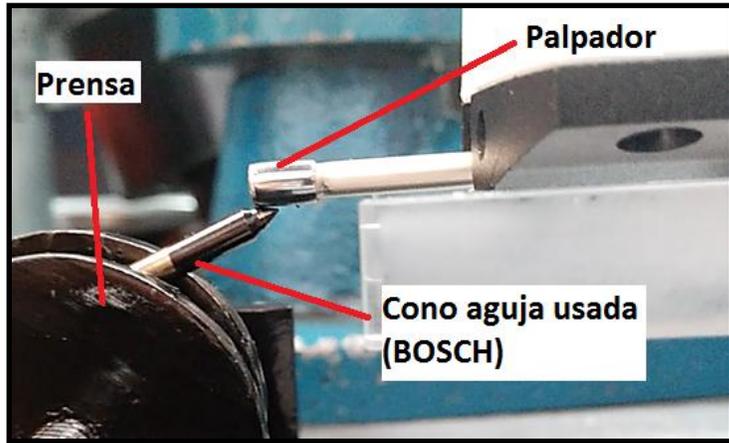


Aguja DENSO



Aguja DELPHI

Mediciones aguja BOSCH (usada)



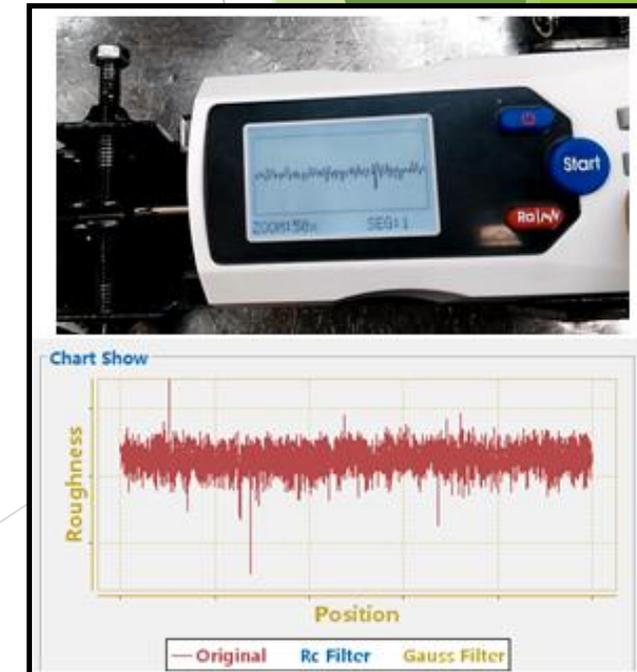
MEDICIONES DE CONO Y VÁSTAGO (AGUJA USADA)

Rugosidad superficial del cono de la aguja (μm)

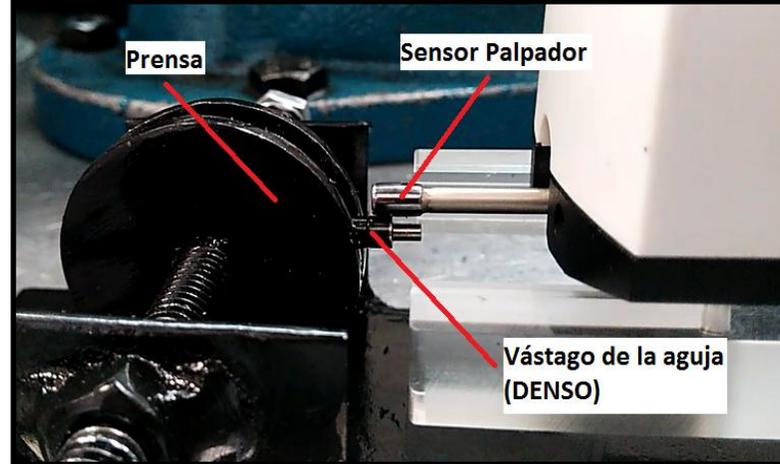
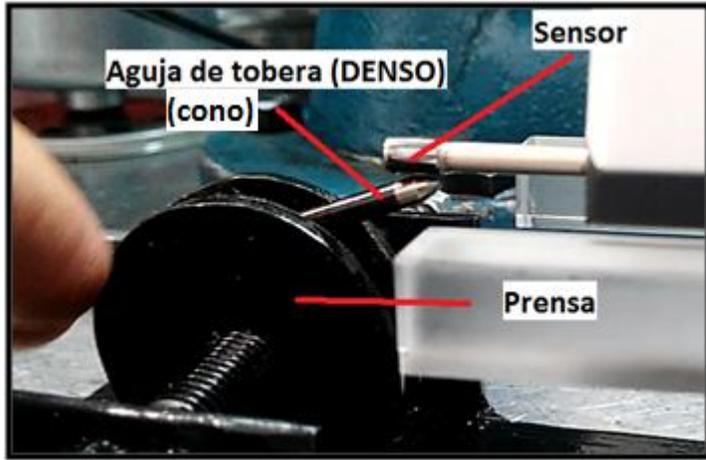
Ra	Rq	Rt	Rz	Rp	Rv	Rm
0.071	0.095	0.856	1.419	0.349	0.507	0.507

Rugosidad del vástago de la aguja (μm)

1.831	2.448	9.636	34.615	2.072	7.564	7.564
--------------	-------	-------	--------	-------	-------	-------



Mediciones aguja DENSO (usada)



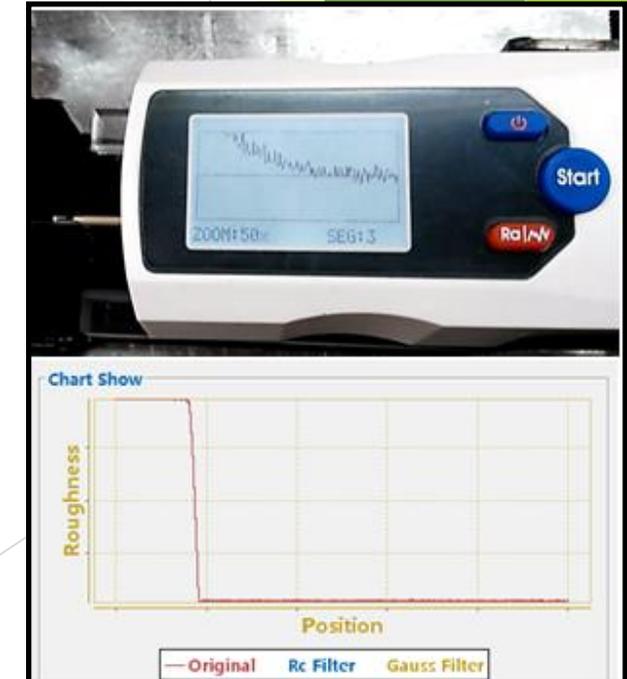
MEDICIONES DE CONO Y VÁSTAGO (AGUJA USADA)

Rugosidad superficial del cono de la aguja (μm)

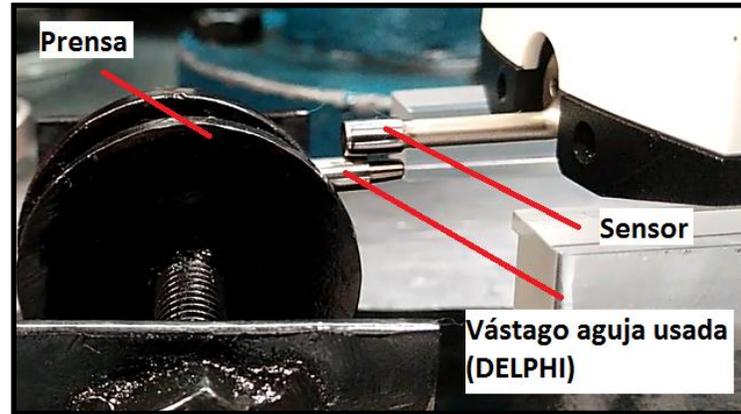
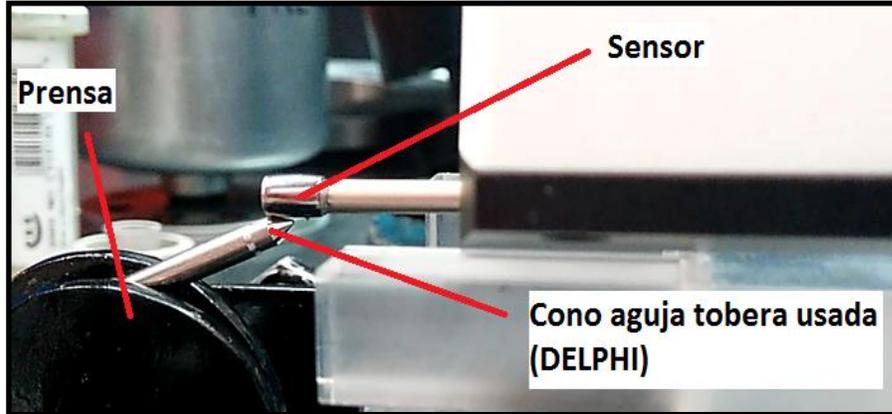
Ra	Rq	Rt	Rz	Rp	Rv	Rm
0.086	0.112	0.685	0.892	0.292	0.393	0.393

Rugosidad del vástago de la aguja (μm)

0.285	3.529	13.538	58.909	3.772	9.766	9.766
--------------	-------	--------	--------	-------	-------	-------



Mediciones aguja DELPHI (usada)



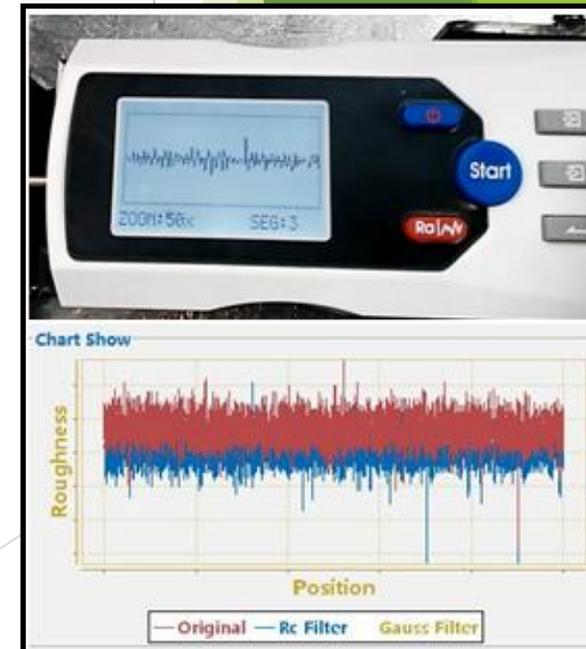
MEDICIONES DE CONO Y VÁSTAGO (AGUJA USADA)

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)

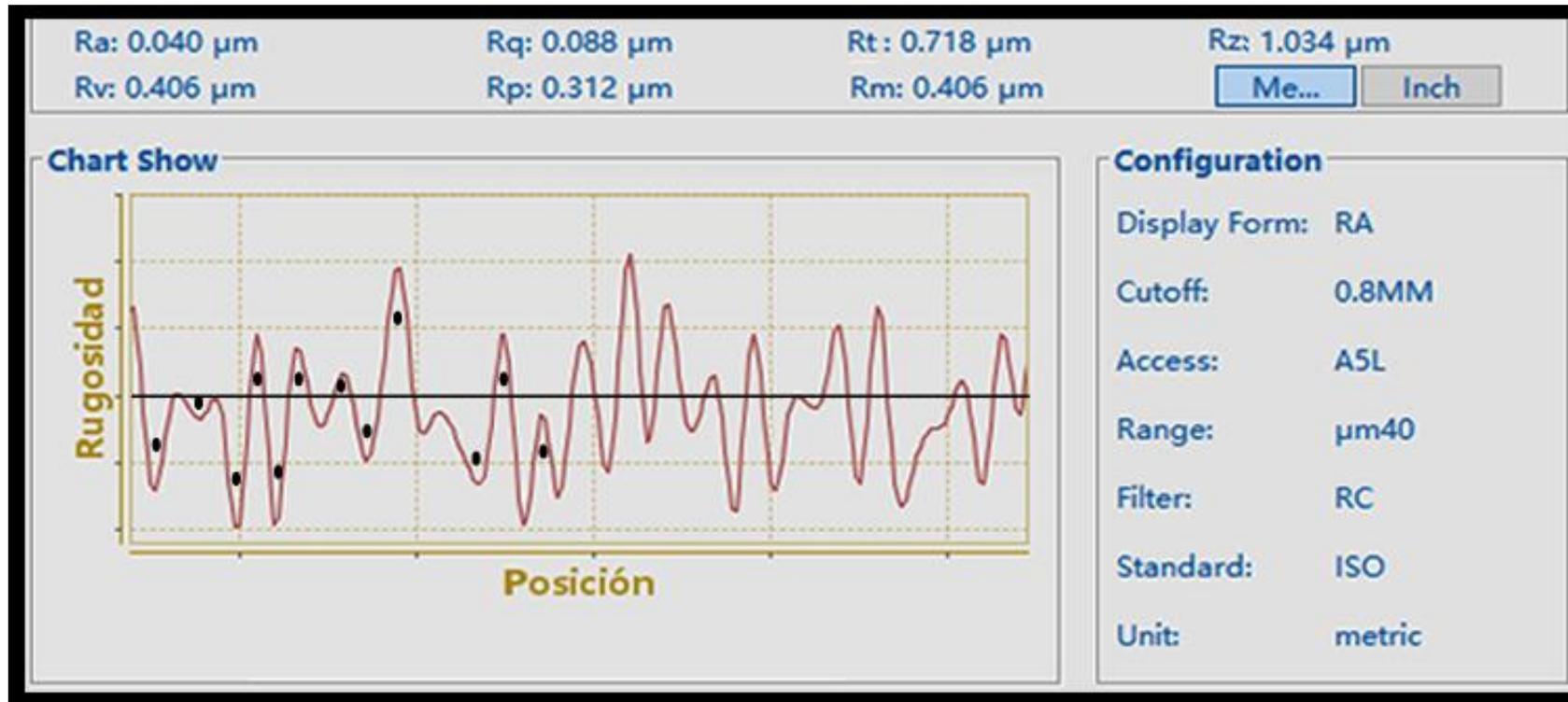
0.296	4.387	21.982	59.416	2.644	19.338	19.338
-------	-------	--------	--------	-------	--------	--------



Análisis de Resultados

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

Análisis del cono de la aguja (Parámetro Ra)



Análisis Matemático

Cálculo de Ra:

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

Dónde:

Lm= 1.2 um

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

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

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

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

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

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

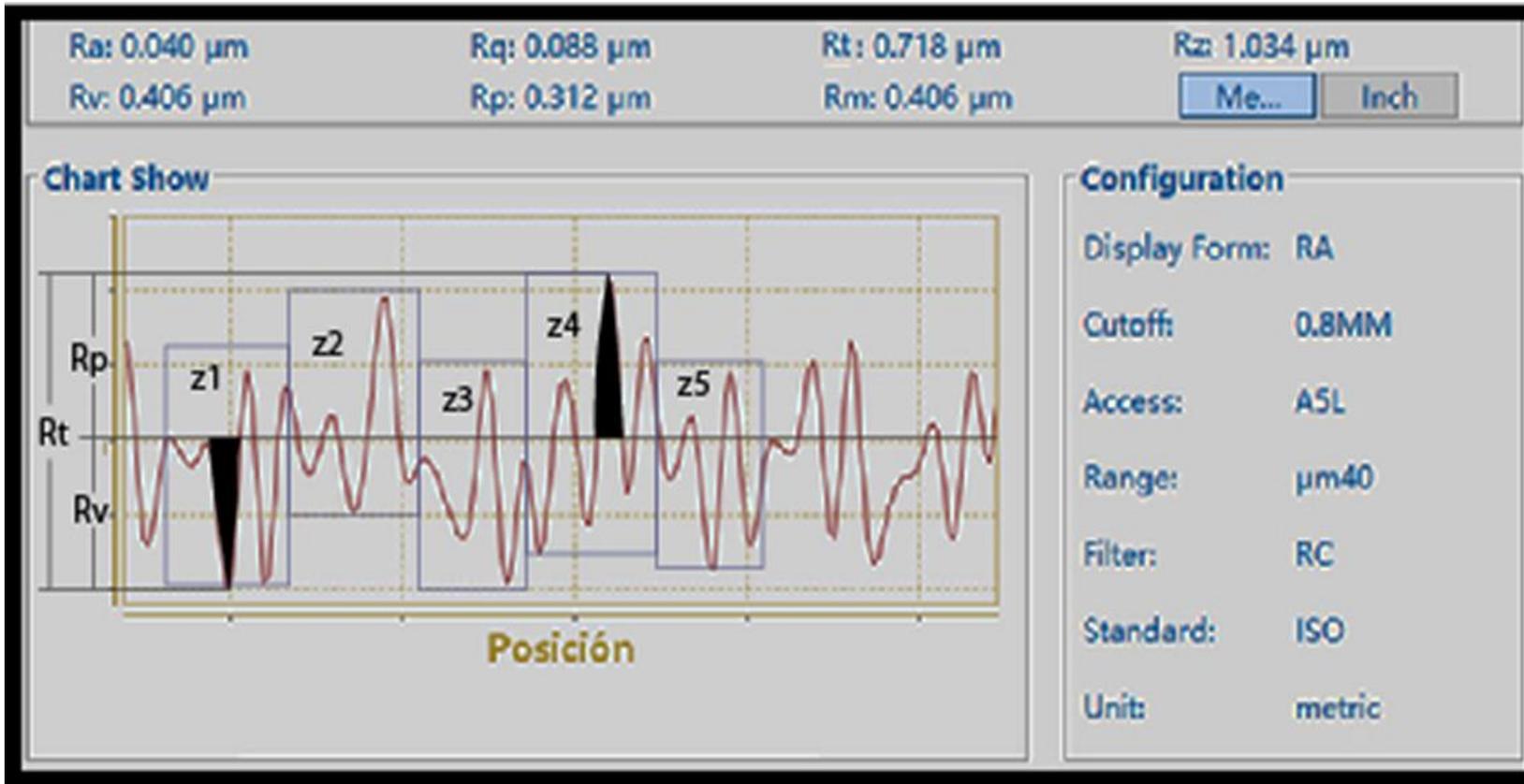
$$Ra = -0.231(0.576 - 1.728 + 0.978)$$

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

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

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

Análisis del cono de la aguja (Parámetro Rt)



Análisis Matemático

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 .

$$R_t = 0.312 + 0.406$$

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

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

Análisis del vástago de la aguja (Parámetro Ra)



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:

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

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

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

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

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

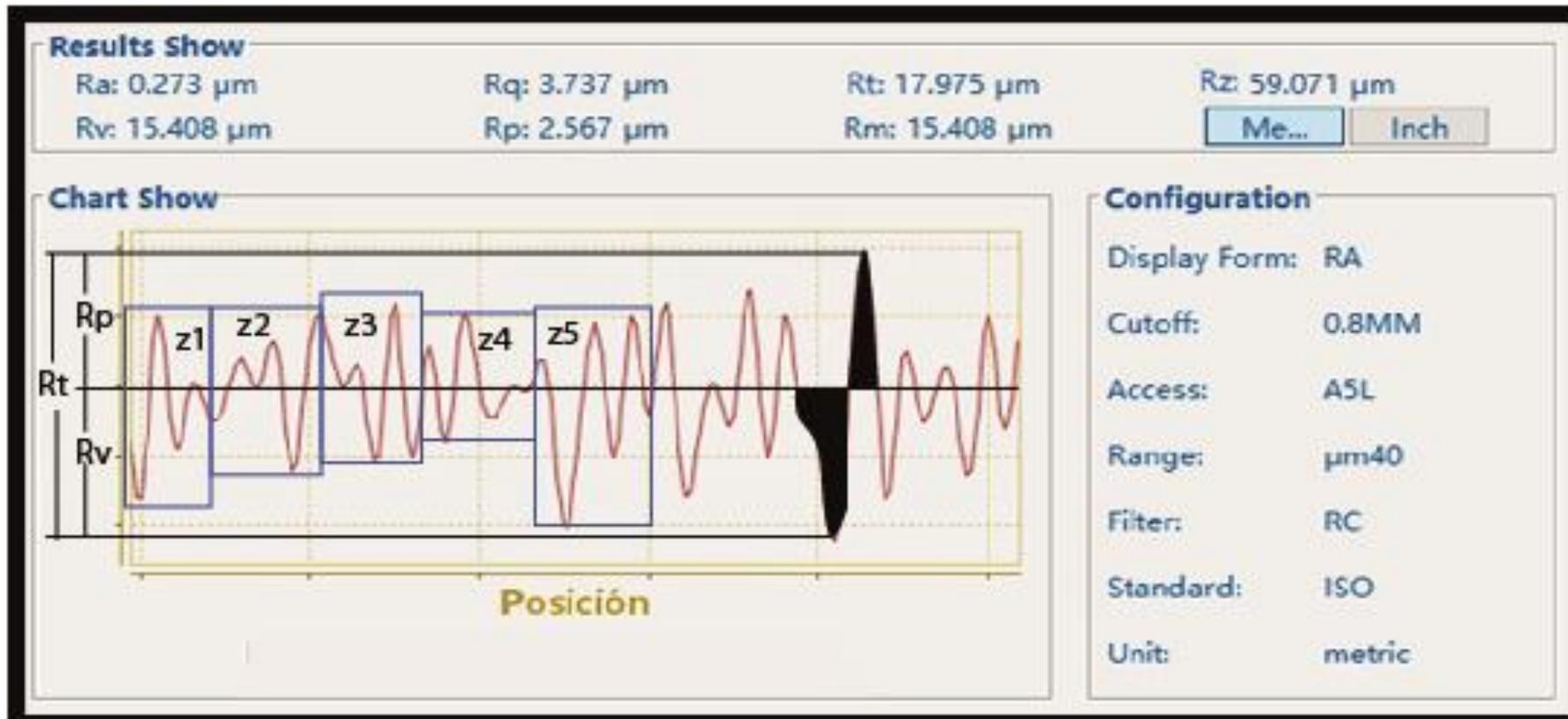
$$Ra = -0.198(0.914 - 2.842 + 0.5488)$$

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

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

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

Análisis del vástago de la aguja (Parámetro Rt)



Análisis Matemático

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 .

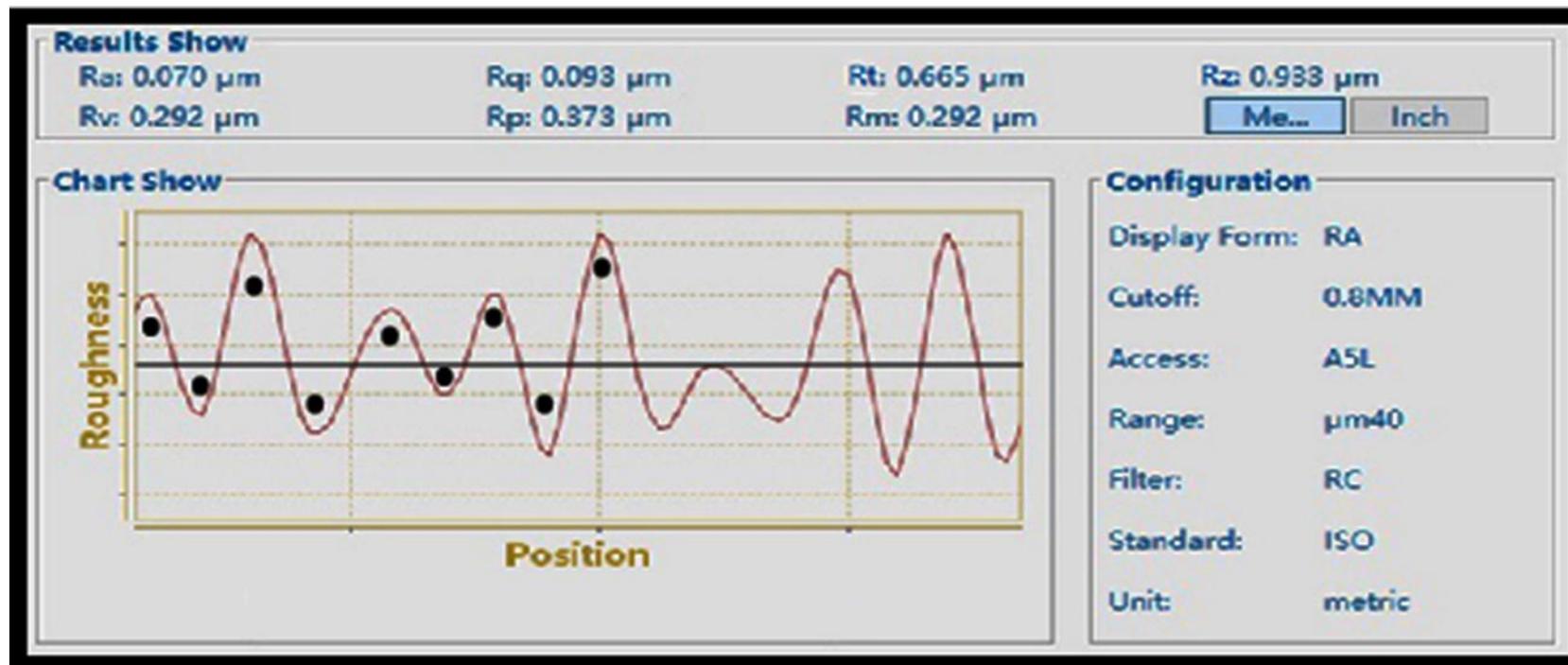
$$R_t = 2.567 + 15.408$$

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

Análisis de Resultados

Rugosidad de la aguja de la tobera USADA del inyector DELPHI (Hyundai Terracan 2.9)

Análisis del cono de la aguja (Parámetro Ra)



Análisis Matemático

Cálculo de Ra:

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

Dónde:

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

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

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

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

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

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

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

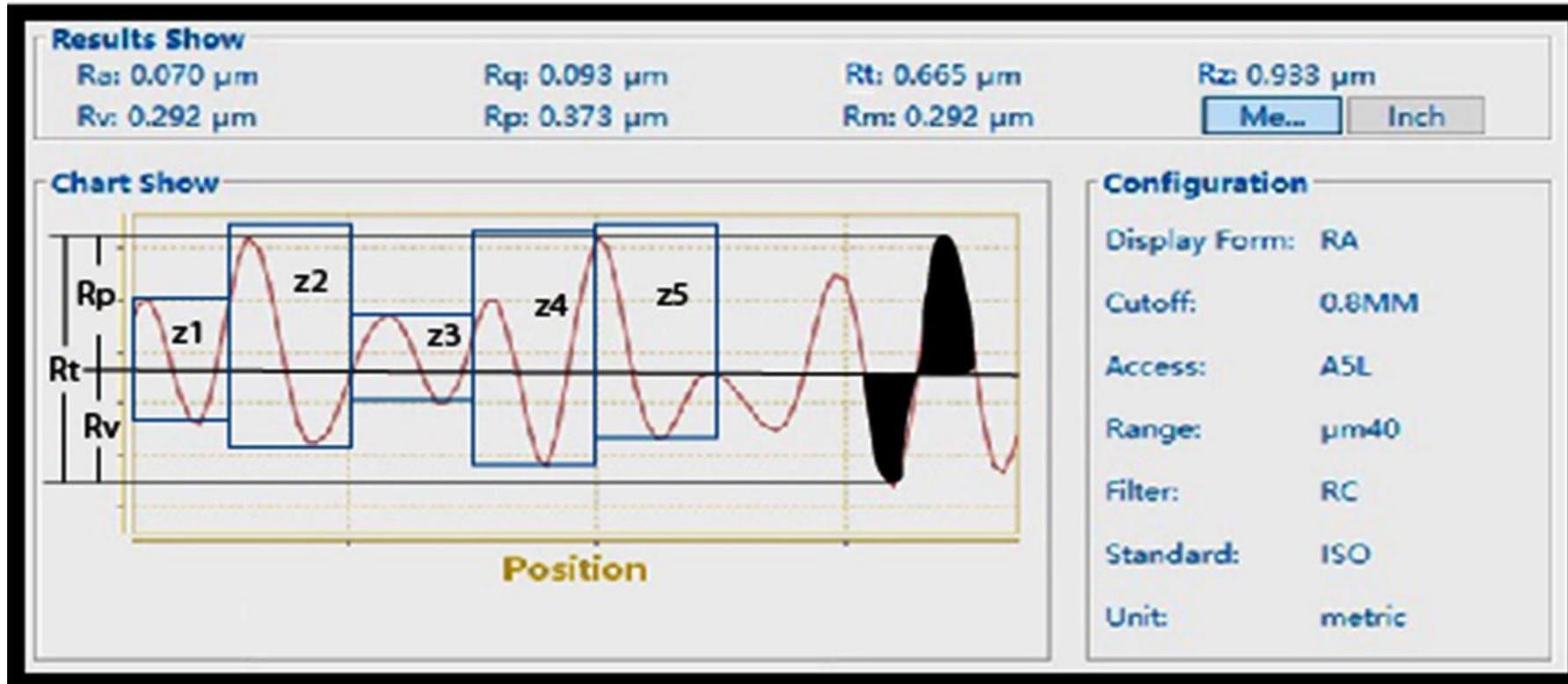
$$Ra = -0.274(0.732 - 1.605 + 0.614)$$

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

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

Rugosidad de la aguja de la tobera USADA del inyector DELPHI (Hyundai Terracan 2.9)

Análisis del cono de la aguja (Parámetro Rt)



Análisis Matemático

Cálculo de R_t :

$$R_t = R_p + R_v$$

Dónde:

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

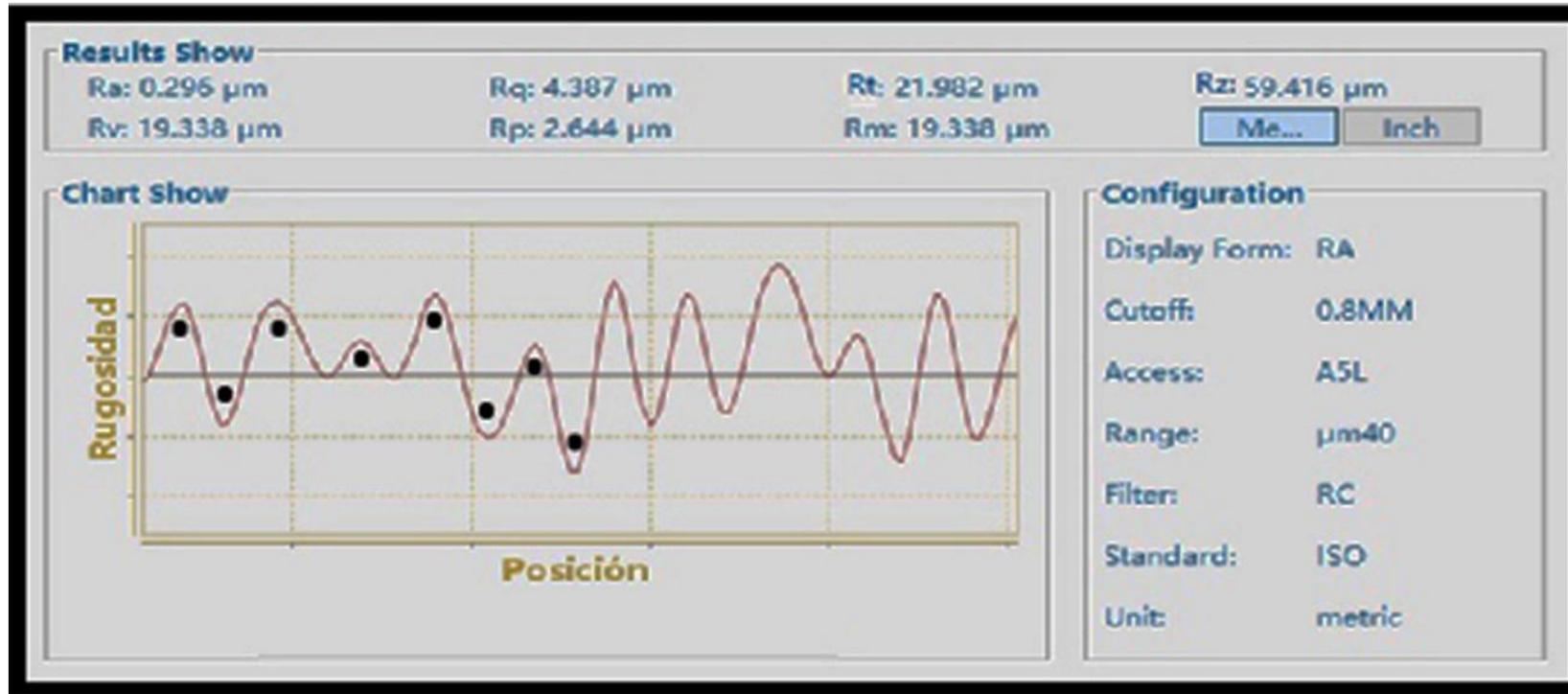
R_v = Es el valle más bajo desde la línea media L_m .

$$R_t = 0.373 + 0.292$$

$$\mathbf{R_t = 0.665 \text{ um}}$$

Rugosidad de la aguja de la tobera USADA del inyector DELPHI (Hyundai Terracan 2.9)

Análisis del vástago de la aguja (Parámetro Ra)



Análisis Matemático

Cálculo de Ra:

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

Dónde:

Lm= 1.5 um

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

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

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

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

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

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

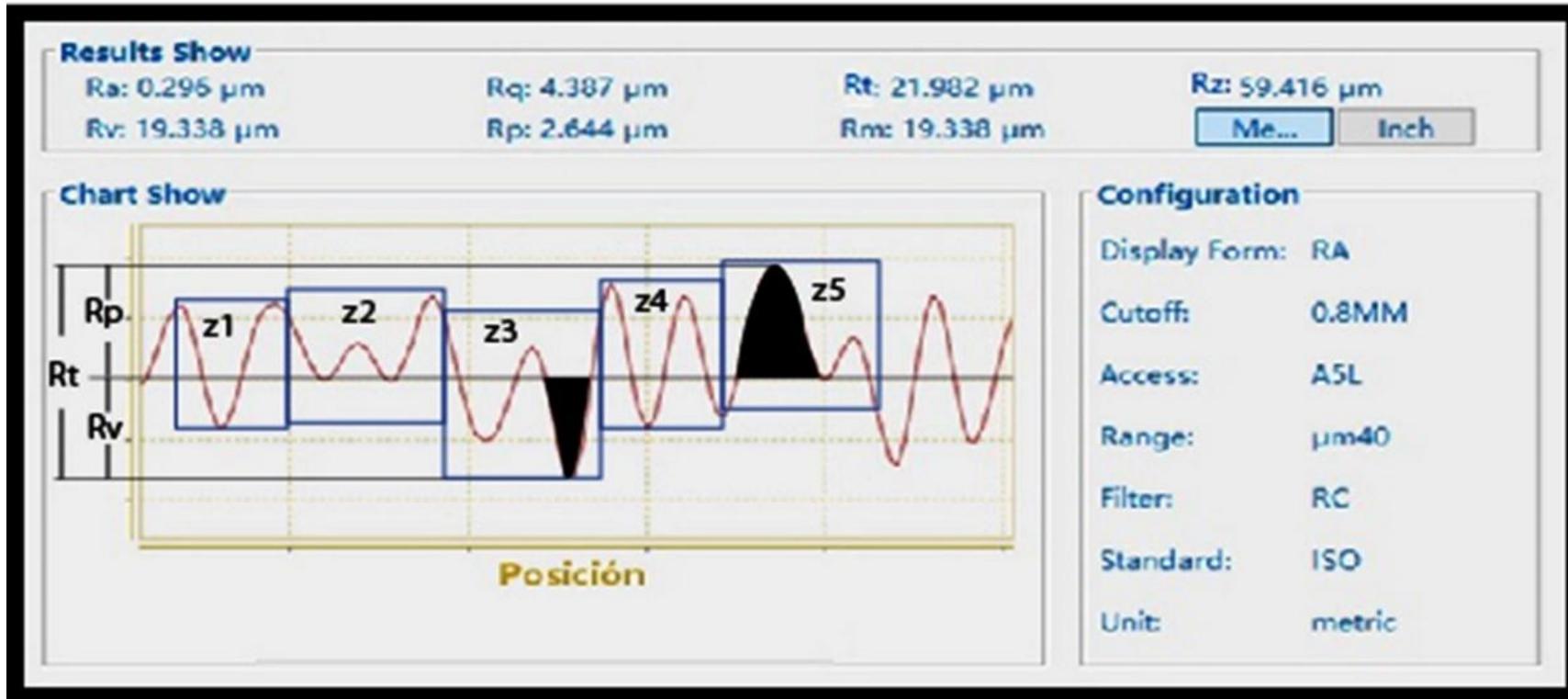
$$Ra = -0.289(1.125 - 2.745 + 0.6)$$

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

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

Rugosidad de la aguja de la tobera USADA del inyector DELPHI (Hyundai Terracan 2.9)

Análisis del vástago de la aguja (Parámetro Rt)



Análisis Matemático

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 .

$$R_t = 2.644 + 19.338$$

$$\mathbf{R_t = 21.982 \text{ um}}$$

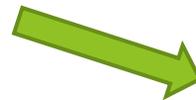
Análisis de Resultados

Se realiza el mismo análisis gráfico y matemático integral para las dos siguientes marcas BOSCH Y DENSO en condiciones iniciales (NUEVO), y condiciones finales (USADO).

Obteniendo así los parámetros que se muestran en la siguientes Tablas:

Cono de la aguja

Rugosidad	Condición	BOSCH	DENSO
Ra	Nuevo	0.066	0.068
Ra	Usado	0.071	0.086



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

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

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

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

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

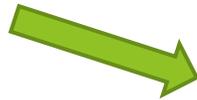
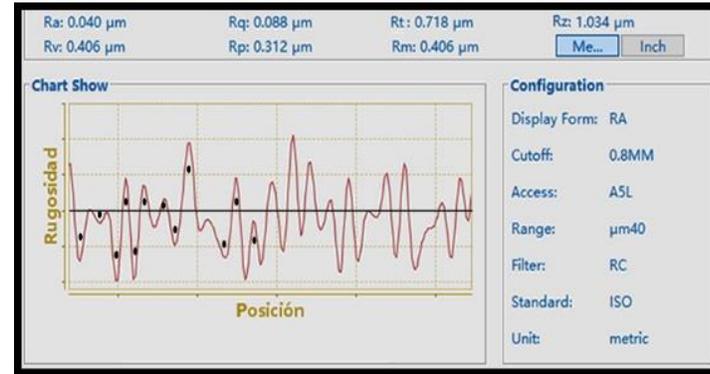
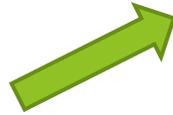
$$Ra = -0.231(0.576 - 1.728 + 0.978)$$

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

$$Ra = 0.040184$$

Vástago de la aguja

Rugosidad	Condición	BOSCH	DENSO
Ra	Nuevo	1.188	0.093
Ra	Usado	1.831	0.285



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

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

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

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

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

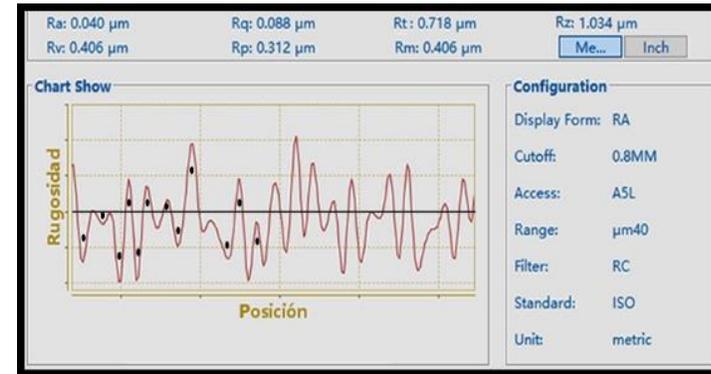
$$Ra = -0.231(0.576 - 1.728 + 0.978)$$

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

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

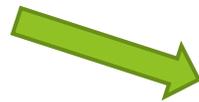
Cono de la aguja (Parámetro Rt)

Rugosidad	Condición	BOSCH	DENSO
Rt	Nuevo	0.596	0.576
Rt	Usado	0.856	0.685



Vástago de la aguja (Parámetro Rt)

Rugosidad	Condición	BOSCH	DENSO
Rt	Nuevo	9.636	13.538
Rt	Usado	1.831	0.285



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

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

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

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

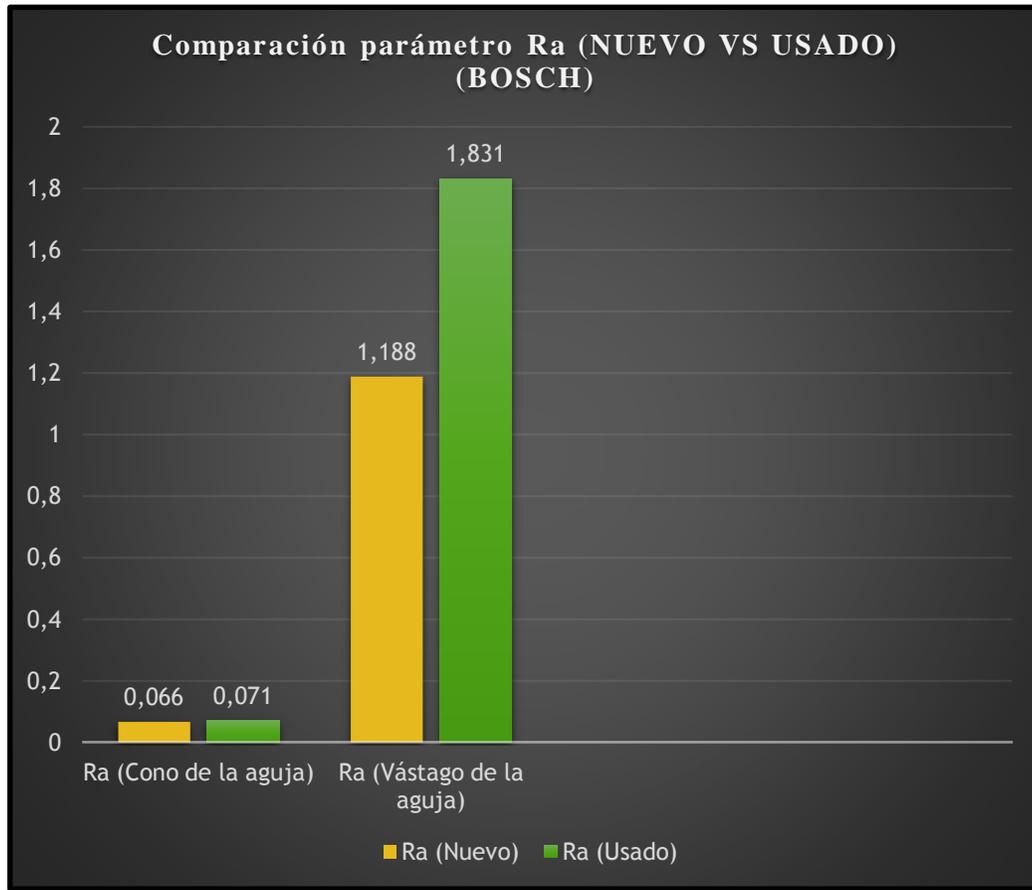
$$Ra = \frac{1}{1.2} * -\frac{1}{3.6} \left[\frac{(1.2)^3}{3} - \frac{(2.4)(1.2)^2}{2} + (0.815)(1.2) \right]$$

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

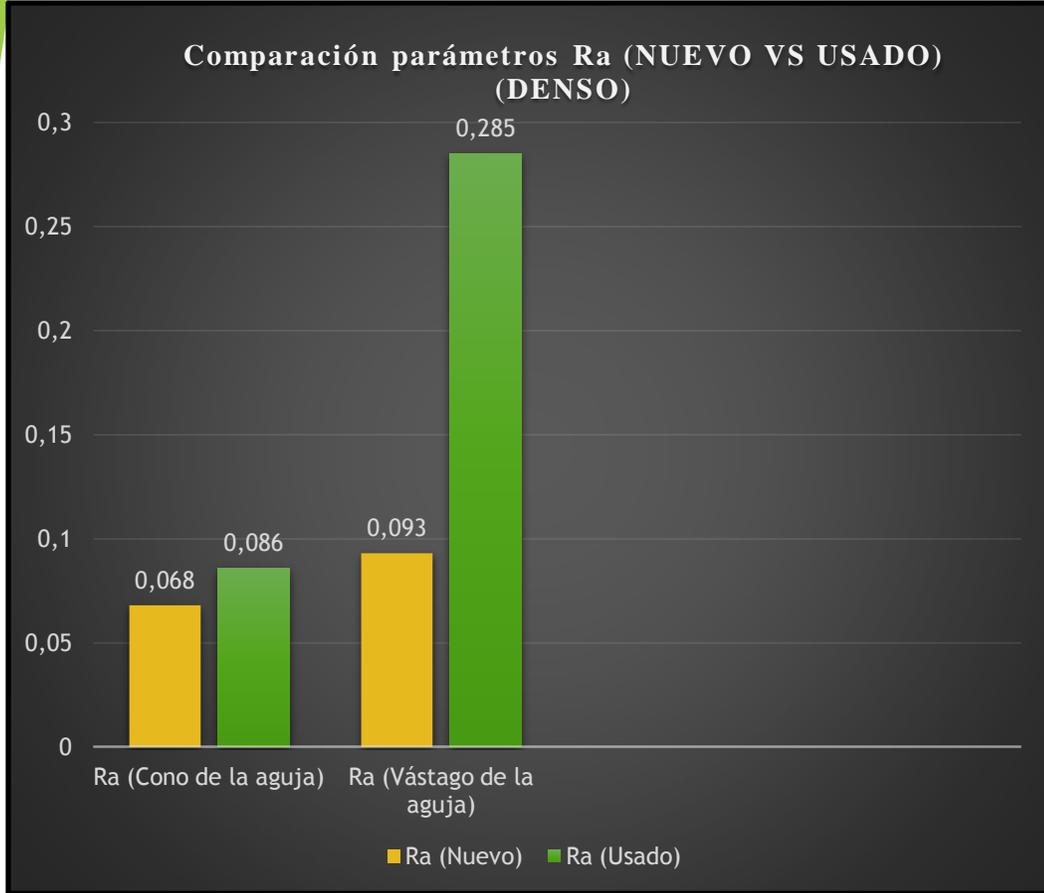
$$Ra = -0.133056 + 0.399168 - 0.225918$$

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

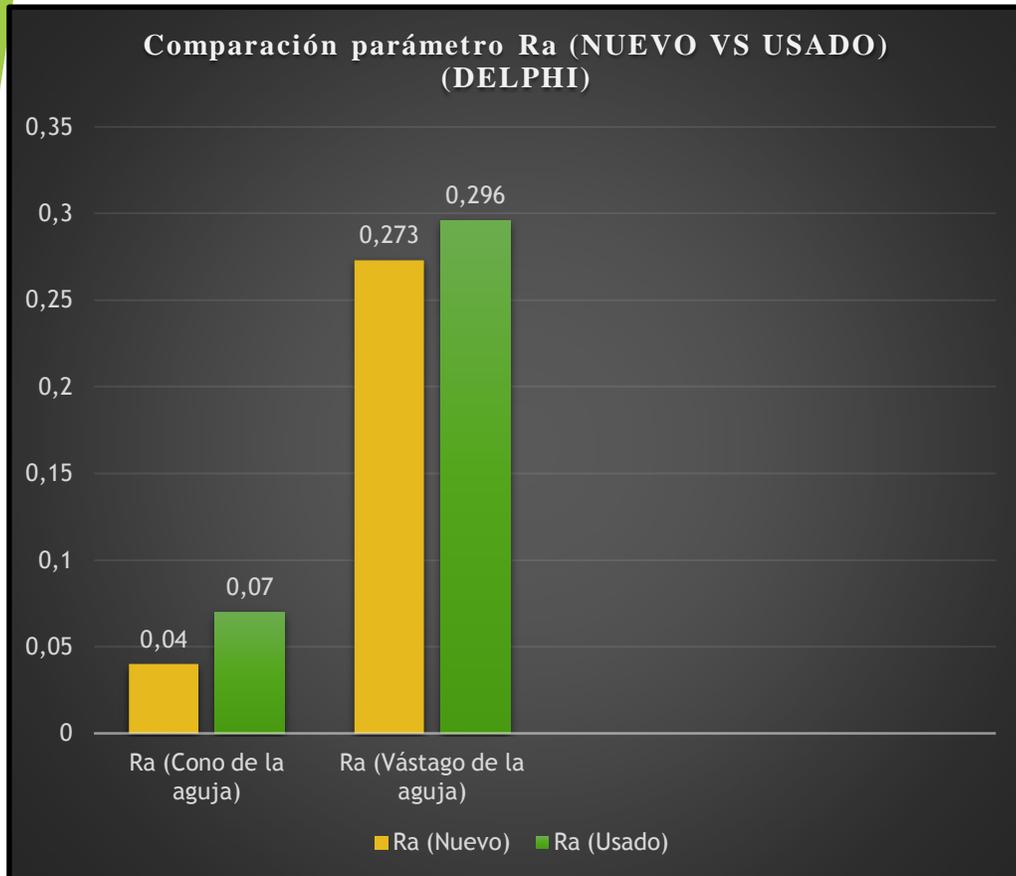
CONCLUSIONES



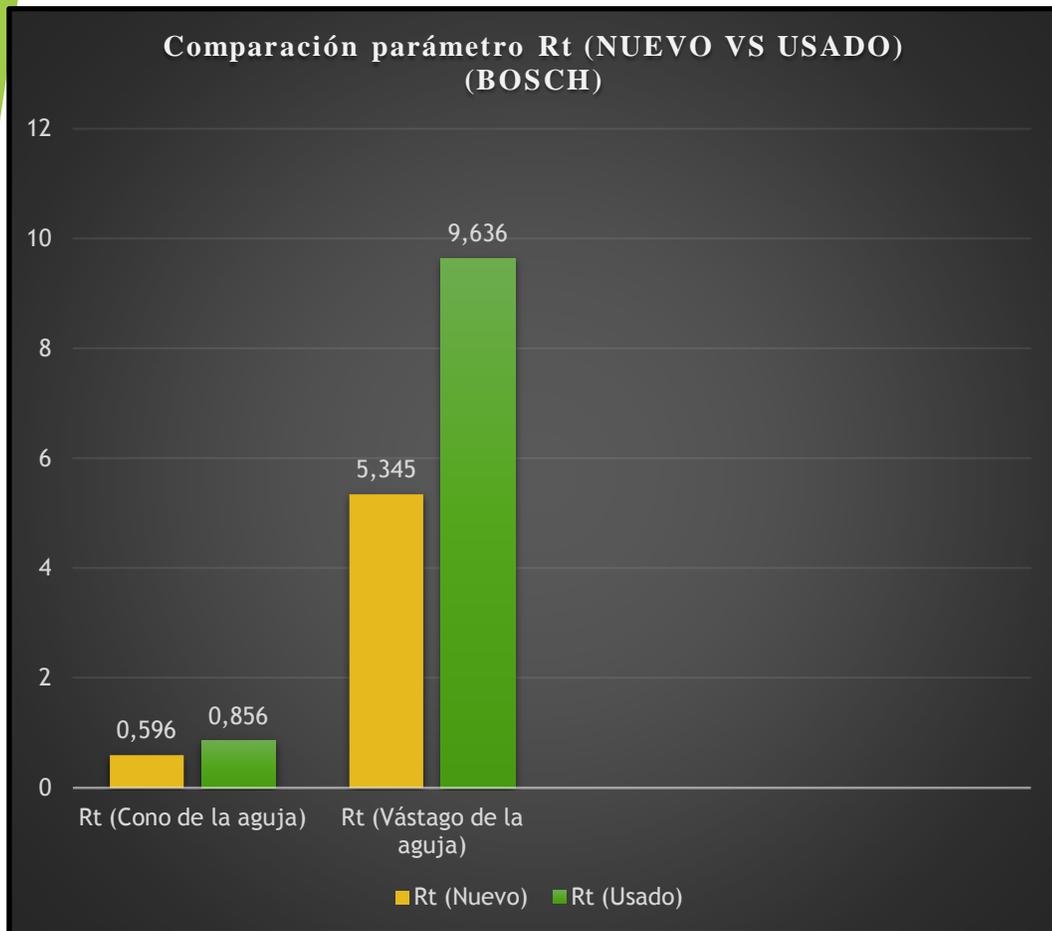
- Parámetro Ra de la Tobera del inyector marca BOSCH de la camioneta Mazda Bt-50 2.5 luego de 80.000 Km de uso.
- Desgaste de 0.005 um en la parte cónica de la aguja.
- Desgaste de 0.643 um en el vástago de la aguja.



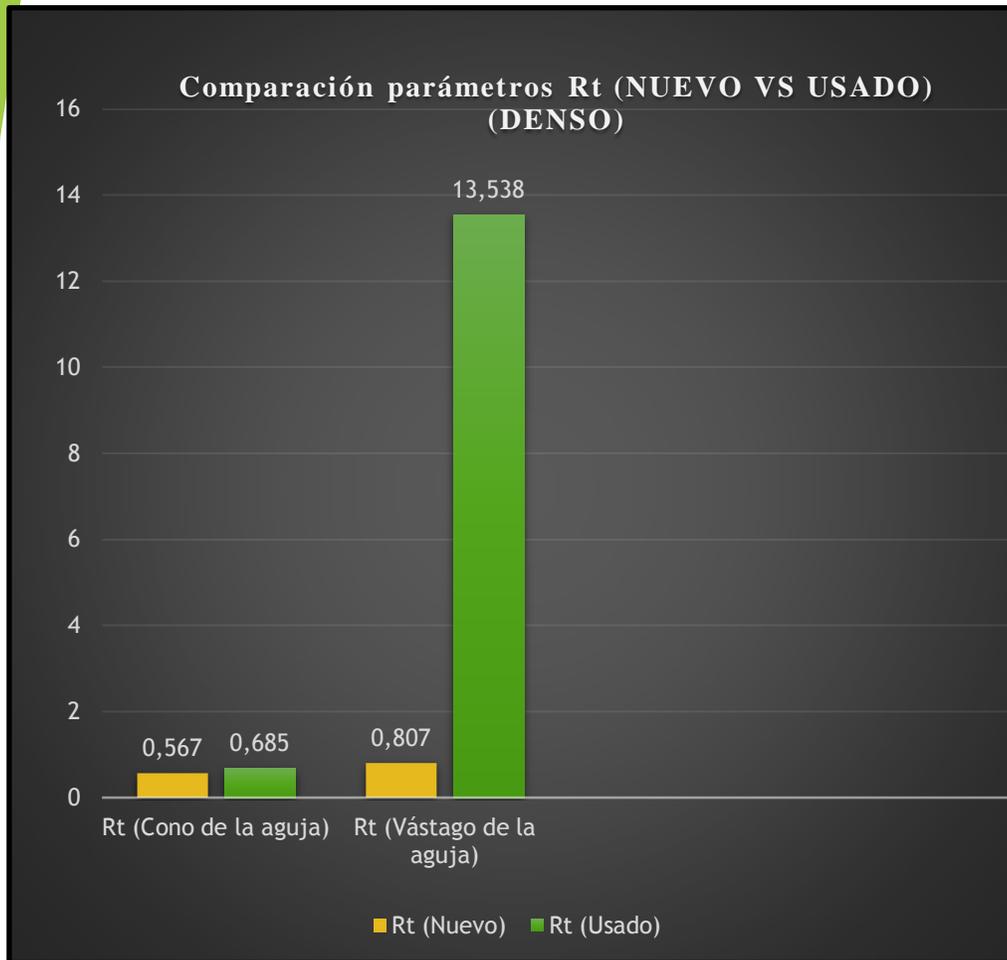
- Parámetro Ra de la Tobera del inyector marca DENSO de la camioneta Toyota Hilux 3.0 luego de 85.000 Km de uso.
- Desgaste de 0.018 um en la parte cónica de la aguja.
- Desgaste de 0.192 um en el vástago de la aguja.



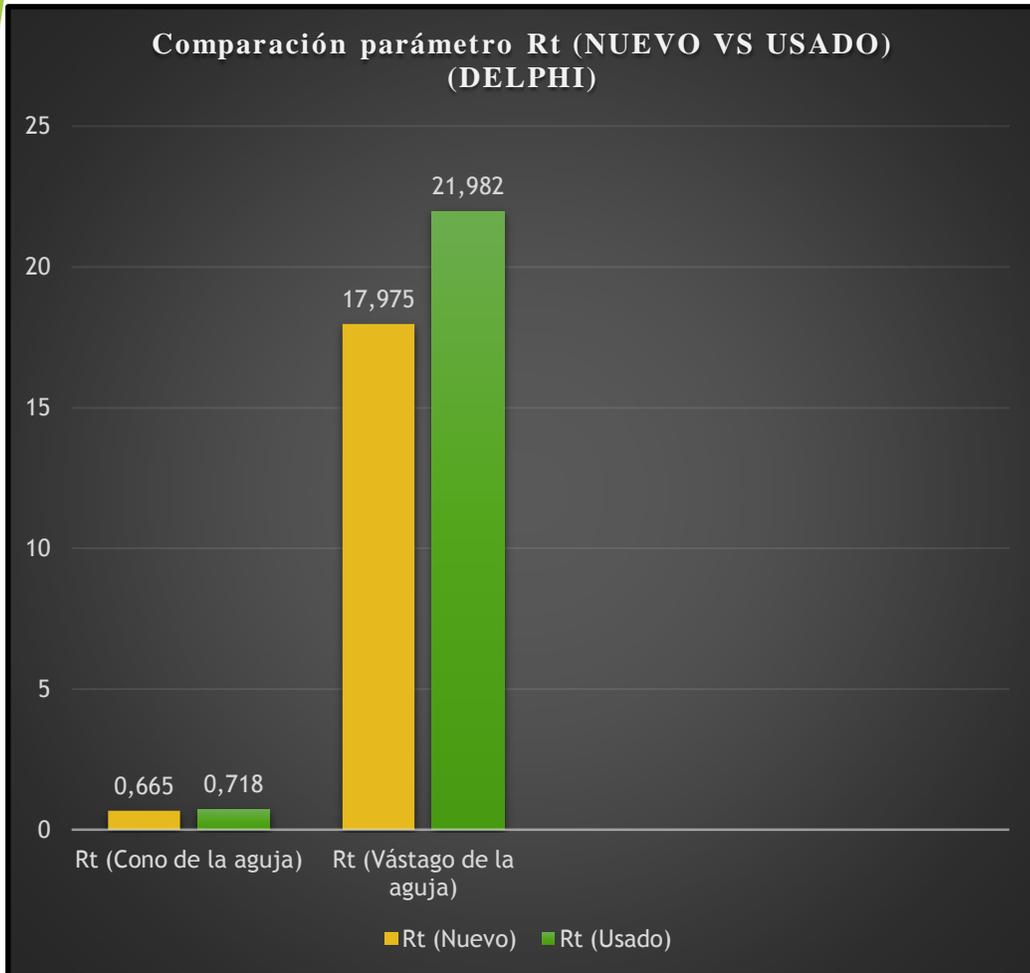
- Parámetro Ra de la Tobera del inyector marca DELPHI del vehículo Hyundai Terracan 2.9 luego de 75.000 Km de uso.
- Desgaste de 0.03 um en la parte cónica de la aguja.
- Desgaste de 0.023 um en el vástago de la aguja.



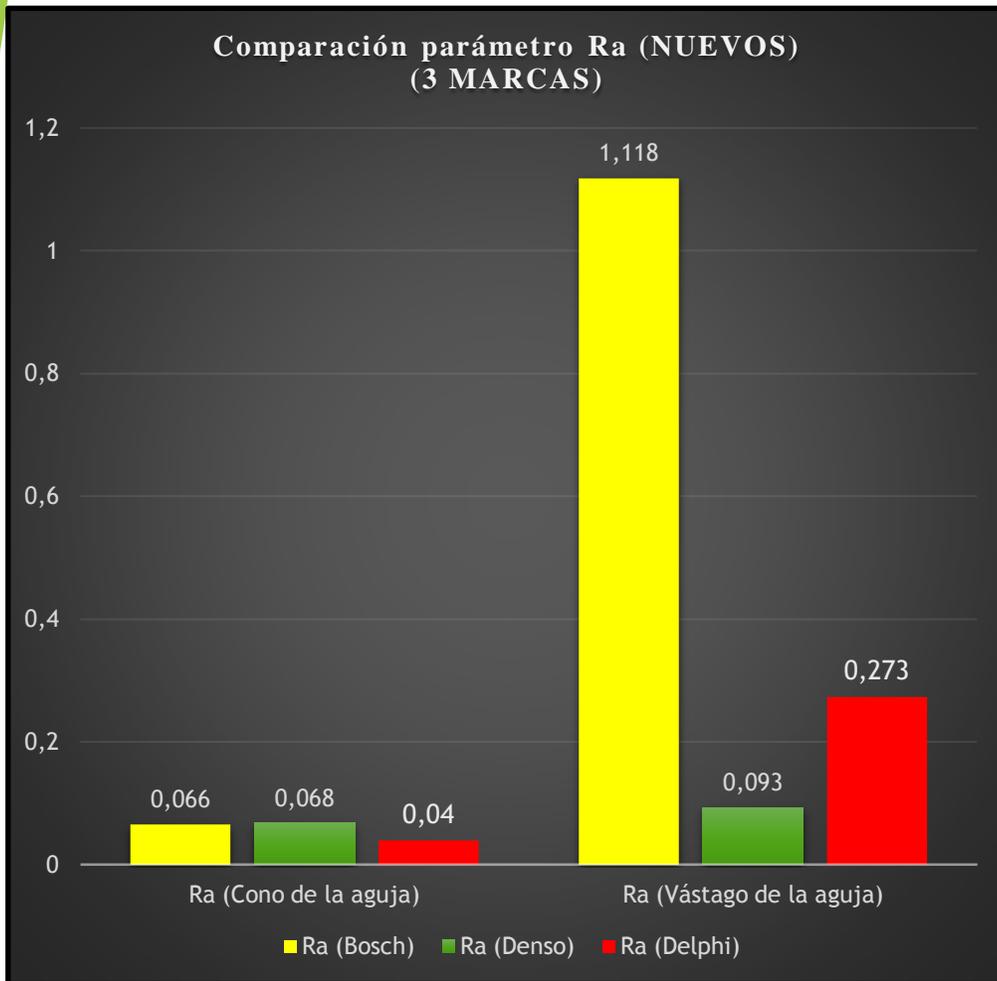
- Parámetro Rt de la Tobera del inyector marca BOSCH de la camioneta Mazda Bt-50 2.5 luego de 80.000 Km de uso.
- Rugosidad máxima en el vástago de la aguja de la tobera usada con 9.636 um de distancia.
- Desgaste máximo que sufrió el cono de la aguja de la tobera del inyector de 0.26 um.



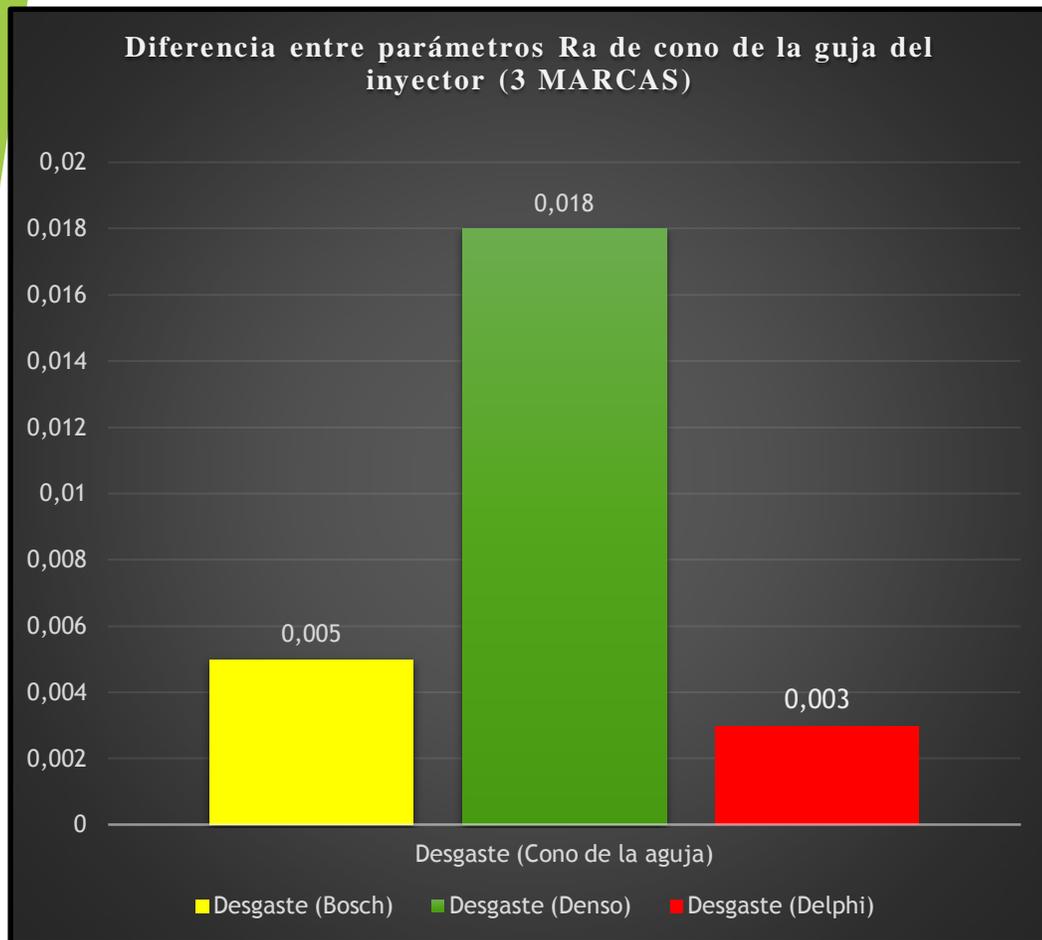
- Parámetro Ra de la Tobera del inyector marca DENSO de la camioneta Toyota Hilux 3.0 luego de 85.000 Km de uso.
- Rugosidad máxima en el vástago de la aguja de la tobera usada con 13.538 um de distancia.
- Desgaste máximo que sufrió el cono de la aguja de la tobera del inyector de 0.118 um.



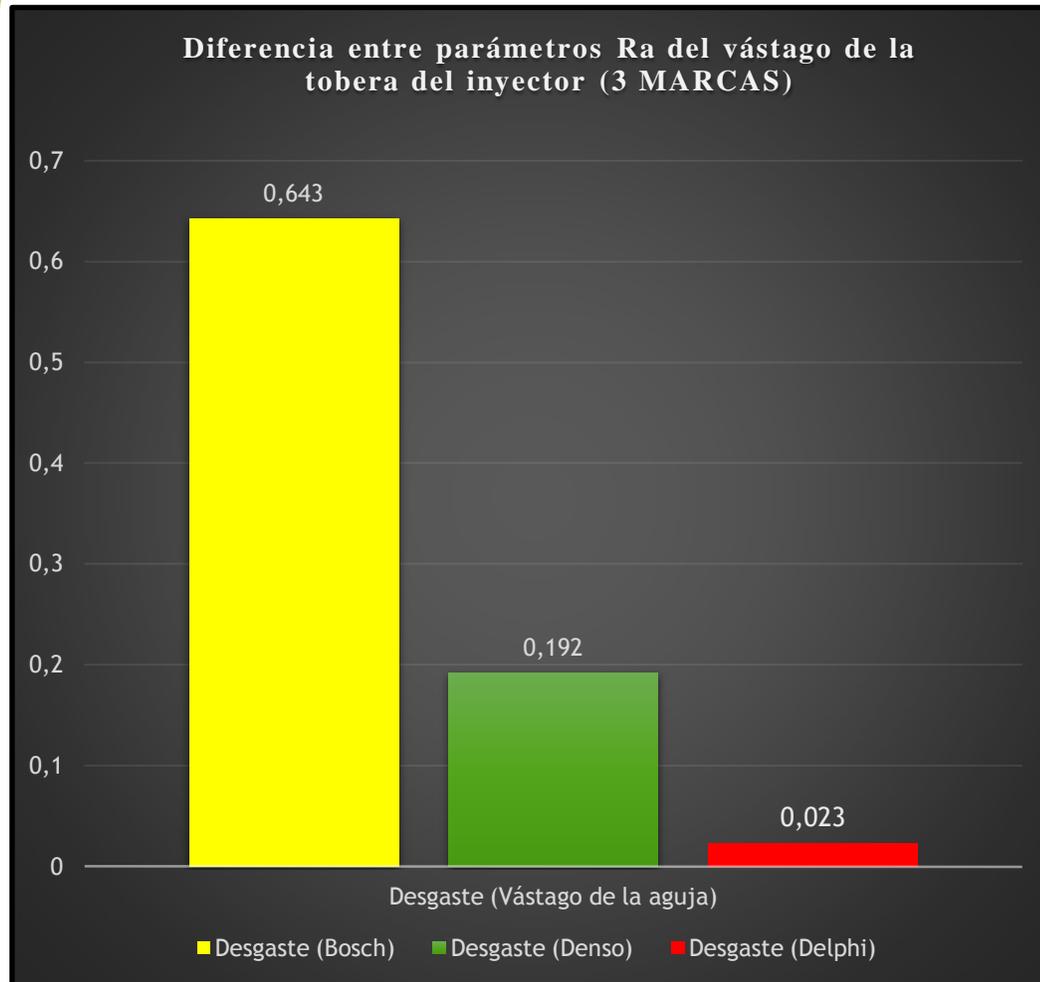
- Parámetro Ra de la Tobera del inyector marca DELPHI del vehículo Hyundai Terracan 2.9 luego de 75.000 Km de uso.
- Rugosidad máxima en el vástago de la aguja de la tobera usada con 21.982 um de distancia.
- Desgaste máximo que sufrió el cono de la aguja de la tobera del inyector de 0.053 um.



- Mejor acabado Superficial marca DELPHI en el cono de la aguja de la tobera del inyector.
- Mejor acabado Superficial marca DENSO en el vástago de la aguja de la tobera del inyector.
- Clase de rugosidad (N1-N4); Superficie Especular.
- Clase de Rugosidad - Proceso de Fabricación (Lapeado, Pulido).
- Clase de Rugosidad - Aplicación (cojinetes súper acabados, pies de válvulas, cojinetes lapeados, reductores etc.)



- Mayor desgaste en la parte cónica de la aguja de la tobera del inyector marca DENSO de la camioneta Toyota Hilux 3.0.
- Distancia recorrida por la camioneta 85.000 Km.
- Parte cónica de la aguja de la tobera del inyector marca DELPHI, tiene alta resistencia al desgaste (material de fabricación).



- Mayor desgaste en la parte del vástago de la aguja de la tobera del inyector marca BOSCH de la camioneta Mazda Bt-50 2.5.
- Distancia recorrida por la camioneta 80.000 Km.
- Parte del vástago de la aguja de la tobera del inyector marca DELPHI, tiene alta resistencia al desgaste (material de fabricación).

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 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.

**GRACIAS POR SU
ATENCIÓN**