

ANÁLISIS DE DESGASTE DE LAS TOBERAS DE LOS INYECTORES EN SISTEMAS CRDI, A TRAVÉS DEL RUGOSÍMETRO

*Ing. Luis Mena Navarrete ¹, Ing. Stalin Mena Palacios ²
Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE
Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica
Quijano y Ordoñez y Marqués de Maénza s/n
Email: lamena@espe.edu.ec 1 jsmena@espe.edu.ec 2
Latacunga - Ecuador*

RESUMEN

Se presenta un análisis del desgaste en las agujas de inyección de las toberas de los inyectores, de tres marcas comerciales: Bosch, Denso y Delphi por medio del uso del rugosímetro.

Se describen además los parámetros de las agujas de inyección (iniciales y finales) de cada una de las marcas antes nombradas. Así también el uso de cálculos integrales para corroborar las mediciones brindadas por el aparato de medición, el cual está avalado por normas internacionales como ISO y DIN.

Se evalúa el desgaste de las agujas en función de los principales parámetros de rugosidad: Ra, Rq, Rt, Rz, Rp, Rv y Rm.

Palabras Clave:

Crdi, Desgaste, Inyectores, Rugosidad, Tobera.

ABSTRACT

An analysis of the wear on the injection nozzles of the injector nozzles of three commercial brands: Bosch, Denso and Delphi through the use of the rugosimeter is presented.

The parameters of the injection needles (initial and final) of each of the above mentioned marks are also described. So also the use of integral calculations to corroborate the measurements provided by the measuring device, which is endorsed by international standards such as ISO and DIN.

The wear of the needles is evaluated according to the main roughness

parameters: Ra, Rq, Rt, Rz, Rp, Rv and Rm.

Keywords:

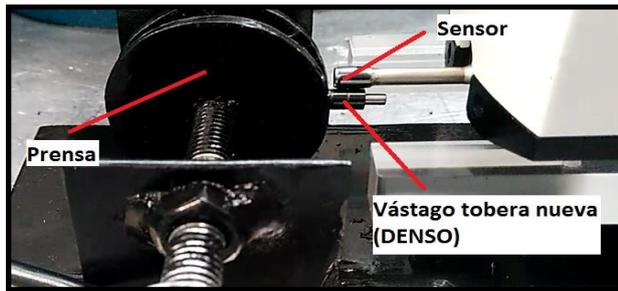
Crdi, injector, roughness, tobera, wear.

I. INTRODUCCIÓN

En el país el incremento exponencial de los vehículos que usan sistemas de alimentación CRDI es una realidad, y uno de los principales problemas que experimenta los usuarios de estos, son las averías en sus vehículos (pérdida de potencia, alto consumo de combustible, exceso de humos negros, etc.) por el desgaste o daños en las toberas de los inyectores.

El principal causante del desgaste en las toberas es la alta presión a la que se da la inyección (1400 a 2000 bar), así como las altas temperaturas en aquella zona (500 a 600 °C); además, pese a que la norma INEN1489 permite el 0,05% de azufre en la composición del diesel, este porcentaje es suficiente para que se acelere el desgaste en estas zonas de los inyectores.

Para determinar el nivel de la rugosidad en las agujas nuevas y el desgaste en las usadas (cono y vástago), se incorporó a la investigación el uso del rugosímetro SHIMANA SHSBLST241, el cual en su programa posee 13 parámetros de medición, para la investigación se realizará el análisis con las 7 más principales.



Fuente: Autores

Figura 1. Medición del vástago de la aguja de inyección

II. DESARROLLO

A. PARÁMETROS DEL RUGOSÍMETRO

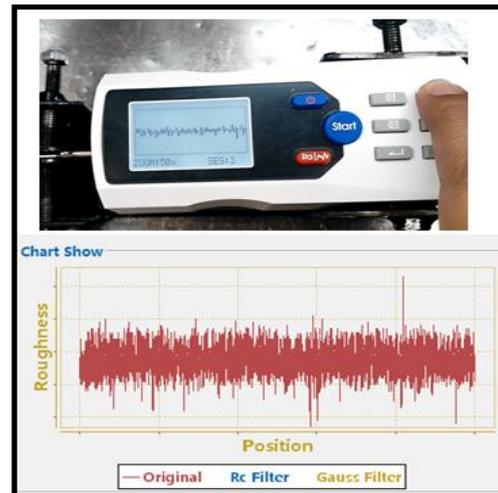
El aparato de medición que se ocupará en esta investigación es del tipo palpador capacitivo, es decir, que el sensor posee un movimiento paralelo a la superficie de medición, va modificando la capacidad del condensador (señal eléctrica) según los valles y picos que se vayan presentando en la medición.

a. CARACTERÍSTICAS DEL APARATO DE MEDICIÓN

El sensor posee un desplazamiento de 5 mm; además de un cut-off (módulo de medición) de 0,05 mm; y posee un rango de variación de $\pm 0,04$ μm . Estos datos van variando en relación a las normas ISO y DIN que vienen incorporadas en el sistema.

Posee de un display el cual se puede observar las mediciones realizadas, gráficas de rugosidad, parámetros de medición y los diferentes opciones del programa (funciones, medidas del sistema.)

Además entre sus características posee un software denominado PresurfEnterprise, el cual interactúa con la PC vía cable USB o por medio de bluetooth; es una herramienta fundamental el uso del computador, ya que por ese medio se obtiene acercamientos más amplios que en las gráficas de la pantalla del rugosímetro (1X, 5X, 20X y 50X).



Fuente: Autores

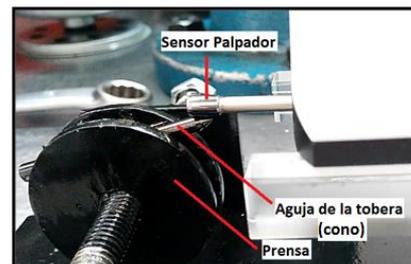
Figura 2. Conexión del rugosímetro al PC

b. MEDICIONES DE RUGOSIDAD

Las agujas de inyección de las toberas de los inyectores, reciben la presión máxima en la alimentación del combustible en los sistemas CRDI de hasta 2000 bar y con temperaturas máximas que alcanzan hasta los 600°C, esto afecta principalmente en dos zonas de las agujas como el cono y el vástago; es por ello que estos sectores son los llamados a ser investigados desde un punto de vista del desgaste.

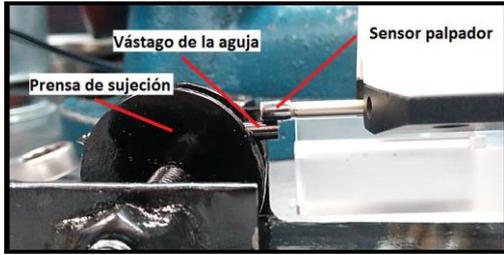
Tanto en las toberas nuevas, como en las usadas; se usa un pedestal en el cual se sostiene para que el sensor palpador del rugosímetro realice el movimiento para realizar la medición de la rugosidad.

Las mediciones se realizan en dos zonas críticas de desgaste, como es el cono de la aguja y su vástago, tanto a iguales condiciones iniciales y a similares condiciones de uso. Se realiza un desarme del inyector y se realizan las mediciones como se puede ver en las imágenes siguientes:



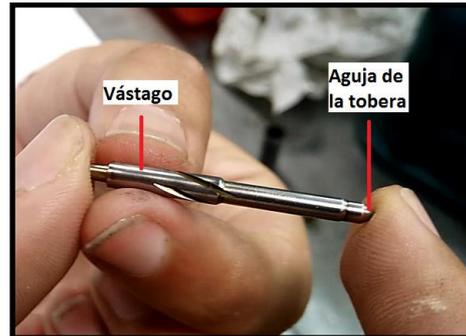
Fuente: Autores

Figura 3. Medición del cono de la aguja (Bosch)



Fuente: Autores

Figura 4. Medición del vástago de la aguja (Bosch)



Fuente: Autores

Figura 6. Aguja de inyección Delphi

De igual manera se realizan las mediciones para las marcas Denso y Delphi; y con el otro grupo de toberas (usadas) en las mismas marcas anteriormente ya nombradas.

B. PARÁMETROS DE LAS TOBERAS BOSCH, DENSO Y DELPHI

a. AGUJA DE INYECCIÓN BOSCH:

La aguja nueva y usada de la marca Bosch, proviene de la camioneta Mazda Bt-50, la cual trabaja con sistema CRDI, de 4 cilindros de cilindraje 2.5 cc. El material de la aguja es de acero rápido 18CrNi8 con un alto acabado superficial. La aguja de inyección usada tuvo un tiempo de uso de 80000 km.



Fuente: Autores

Figura 5. Aguja de inyección Bosch

b. AGUJA DE INYECCIÓN DELPHI:

La aguja nueva y usada de la marca Delphi, proviene del vehículo Hyundai Terracan, la cual trabaja con sistema CRDI, de 4 cilindros de cilindraje 2.9 cc. El material de la aguja es de acero rápido W6Mo5Cr4V2 con un alto acabado superficial. La aguja de inyección usada tuvo un tiempo de uso de 75000 km.

c. AGUJA DE INYECCIÓN DENSO:

La aguja nueva y usada de la marca Denso, proviene del vehículo Toyota Hilux, la cual trabaja con sistema CRDI, de 4 cilindros de cilindraje 3.0 cc. El material de la aguja es de acero rápido W6Mo5Cr4V2 con un alto acabado superficial. La aguja de inyección usada tuvo un tiempo de uso de 85000 km.



Fuente: Autores

Figura 7. Aguja de inyección Denso

C. CÁLCULOS DE RUGOSIDAD

Es conveniente realizar cálculos de rugosidad para poder corroborar las mediciones tomadas; para este caso se va determinar el parámetro Ra de las 3 marcas distintas (Bosch, Delphi y Denso). A continuación, se presenta las fórmulas del parámetro Ra:

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

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

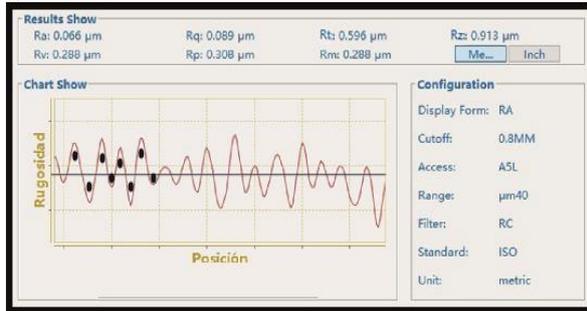
Donde:

L_m = longitud de medición

Y = Ordenada

n = Número de ordenadas consideradas

C.1 CÁLCULO DEL PARÁMETRO Ra (Cono de la aguja nueva de la tobera del inyector marca Bosch).



Fuente: Autores

Figura 8. Rugosidad del cono de la aguja de Tobera inyector BOSCH

Análisis Matemático

Dónde:

$$|Y| = -\frac{Lm = 1.2 \mu m}{X^2 - 2.4X + 0.79} \cdot 2.6$$

Cálculo de Ra:

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

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

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

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

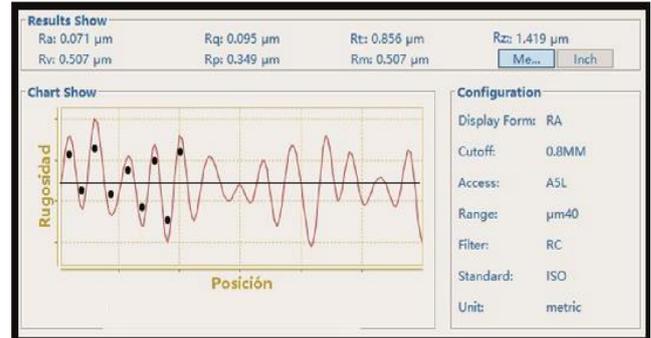
$$Ra = \frac{1}{1.2} * -\frac{1}{2.6} \left[\frac{(1.2)^3}{3} - \frac{(2.4)(1.2)^2}{2} + (0.79)(1.2) \right]$$

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

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

$$Ra = 0.0664 \mu m$$

C.1.1 CÁLCULO DEL PARÁMETRO Ra (Cono de la aguja usada de la tobera del inyector marca Bosch).



Fuente: Autores

Figura 9. Rugosidad del cono de la aguja de Tobera inyector BOSCH

Análisis Matemático

Dónde:

$$|Y| = -\frac{Lm = 1.3 \mu m}{X^2 - 1.9X + 0.471} \cdot 2.8$$

Cálculo de Ra:

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

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

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

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

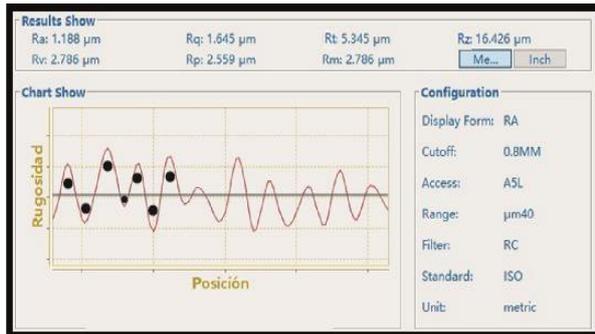
$$Ra = \frac{1}{1.3} * -\frac{1}{2.8} \left[\frac{(1.3)^3}{3} - \frac{(1.9)(1.3)^2}{2} + (0.471)(1.3) \right]$$

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

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

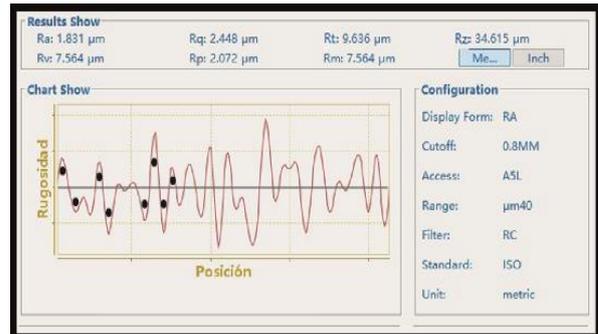
$$Ra = 0.071 \mu m$$

C.1.2 CÁLCULO DEL PARÁMETRO Ra (Vástago de la aguja nueva de la tobera del inyector marca Bosch).



Fuente: Autores

Figura 10. Rugosidad del vástago de la aguja de Tobera inyector BOSCH



Fuente: Autores

Figura 11. Rugosidad del vástago de la aguja de Tobera inyector BOSCH

Análisis Matemático

Dónde:

$$|Y| = -\frac{Lm = 2.2 \mu m}{1.2} \frac{X^2 - 3X + 0.3}{1.2}$$

Cálculo de Ra:

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

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

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

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

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

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

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

$$Ra = 1.188 \mu m$$

C.1.3 CÁLCULO DEL PARÁMETRO Ra
(Vástago de la aguja usada de la tobera del inyector marca Bosch).

Análisis Matemático

Dónde:

$$|Y| = -\frac{Lm = 1.2 \mu m}{1.5} \frac{X^2 - 6.21X + 0.5}{1.5}$$

Cálculo de Ra:

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

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

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

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

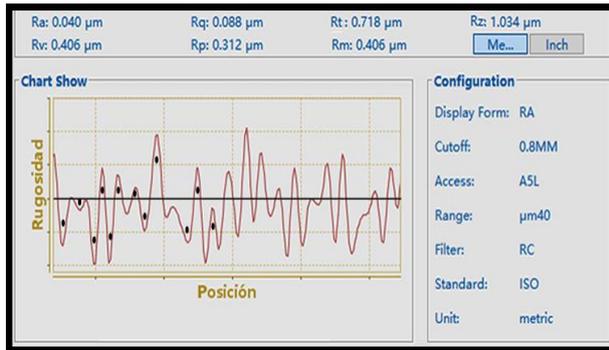
$$Ra = \frac{1}{1.2} * -\frac{1}{1.5} \left[\frac{(1.2)^3}{3} - \frac{(6.21)(1.2)^2}{2} + (0.5)(1.2) \right]$$

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

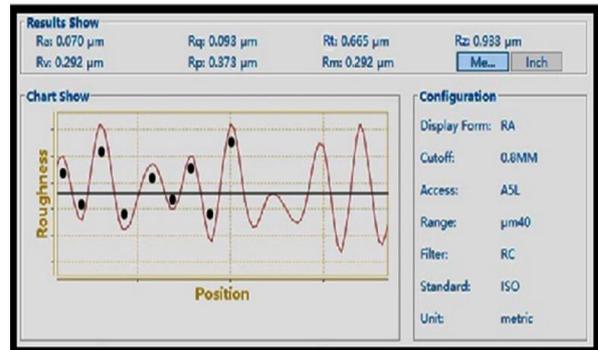
$$Ra = -0.32 + 2.484 - 0.333$$

$$Ra = 1.831 \mu m$$

C.2. CÁLCULO DEL PARÁMETRO Ra
(Cono de la aguja nueva de la tobera del inyector marca Delphi).



Fuente: Autores
Figura 12. Rugosidad del cono de la aguja de Tobera inyector DELPHI



Fuente: Autores
Figura 13. Rugosidad del cono de la aguja de Tobera inyector DELPHI

Análisis Matemático

Dónde:

$$|Y| = -\frac{Lm = 1.2 \mu m}{3.6} \frac{X^2 - 2.4X + 0.815}{3.6}$$

Cálculo de Ra:

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

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

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

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

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

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

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

$$Ra = 0.0401 \mu m$$

C.2.1 CÁLCULO DEL PARÁMETRO Ra (Cono de la aguja usada de la tobera del inyector marca Delphi).

Análisis Matemático

Dónde:

$$|Y| = -\frac{Lm = 1.3 \mu m}{2.8} \frac{X^2 - 1.9X + 0.473}{2.8}$$

Cálculo de Ra:

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

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

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

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

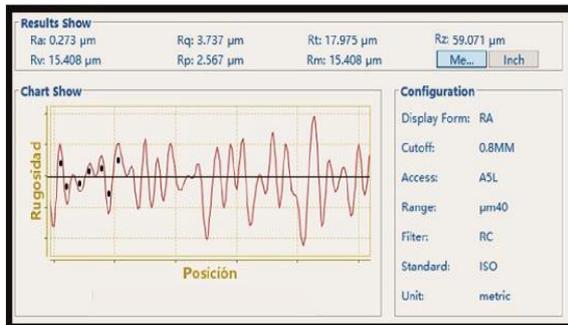
$$Ra = \frac{1}{1.3} * -\frac{1}{2.8} \left[\frac{(1.3)^3}{3} - \frac{(1.9)(1.3)^2}{2} + (0.473)(1.3) \right]$$

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

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

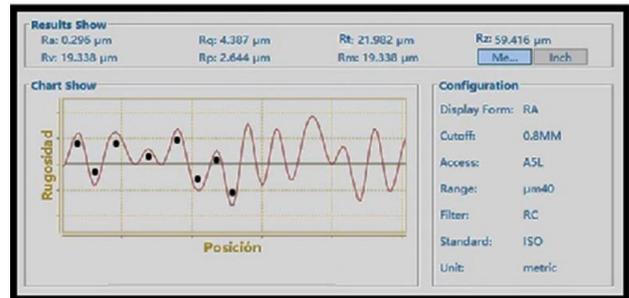
$$Ra = 0.070 \mu m$$

C.2.2 CÁLCULO DEL PARÁMETRO Ra (Vástago de la aguja nueva de la tobera del inyector marca Delphi).



Fuente: Autores

Figura 14. Rugosidad del vástago de la aguja de Tobera inyector DELPHI



Fuente: Autores

Figura 15. Rugosidad del vástago de la aguja de Tobera inyector DELPHI

Análisis Matemático

Dónde:

$$|Y| = -\frac{Lm = 1.4 \mu m}{3.6} \frac{X^2 - 2.9X + 0.392}{3.6}$$

Cálculo de Ra:

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

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

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

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

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

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

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

$$Ra = 0.2736 \mu m$$

C.2.3 CÁLCULO DEL PARÁMETRO Ra (Vástago de la aguja usada de la tobera del inyector marca Delphi).

Análisis Matemático

Dónde:

$$Lm = 1.5 \mu m$$

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

Cálculo de Ra:

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

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

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

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

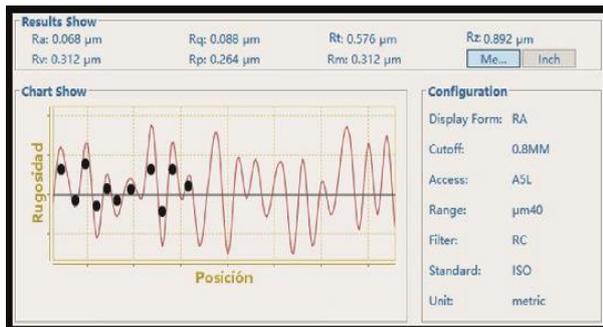
$$Ra = \frac{1}{1.5} * -\frac{1}{2.3} \left[\frac{(1.5)^3}{3} - \frac{(2.44)(1.5)^2}{2} + (0.4)(1.5) \right]$$

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

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

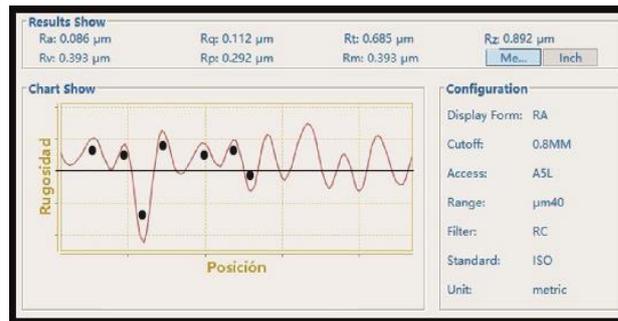
$$Ra = 0.296 \mu m$$

C.3 CÁLCULO DEL PARÁMETRO Ra (Cono de la aguja nueva de la tobera del inyector marca Denso).



Fuente: Autores

Figura 16. Rugosidad del cono de la aguja de Tobera inyector DENSO



Fuente: Autores

Figura 17. Rugosidad del cono de la aguja de Tobera inyector DENSO

Análisis Matemático

Dónde:

$$Lm = 1.3 \mu m$$

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

Cálculo de Ra:

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

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

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

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

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

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

$$Ra = -0.2011 + 0.4410 - 0.1714$$

$$Ra = 0.0684 \mu m$$

C.3.1 CÁLCULO DEL PARÁMETRO Ra
(Cono de la aguja usada de la tobera del inyector marca Denso).

Análisis Matemático

Dónde:

$$Lm = 1.2 \mu m$$

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

Cálculo de Ra:

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

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

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

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

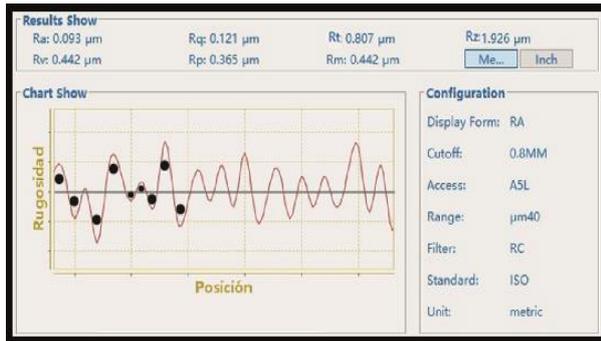
$$Ra = \frac{1}{1.2} * -\frac{1}{2.9} \left[\frac{(1.2)^3}{3} - \frac{(1.9)(1.2)^2}{2} + (0.409)(1.2) \right]$$

$$Ra = -0.2873(0.576 - 1.368 + 0.4908)$$

$$Ra = -0.1655 + 0.3931 - 0.1410$$

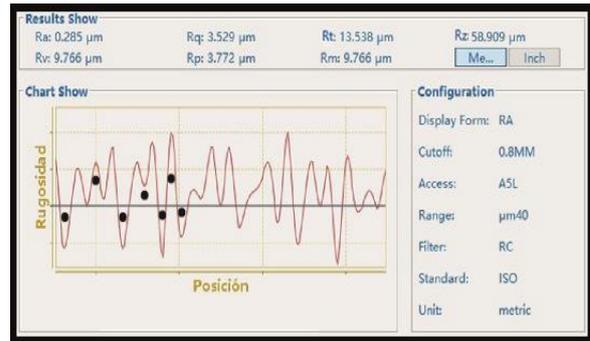
$$Ra = 0.086 \mu m$$

C.3.2 CÁLCULO DEL PARÁMETRO Ra
(Vástago de la aguja nueva de la tobera del inyector marca Denso).



Fuente: Autores

Figura 18. Rugosidad del vástago de la aguja de Tobera inyector DENSO



Fuente: Autores

Figura 19. Rugosidad del vástago de la aguja de Tobera inyector DENSO

Análisis Matemático

Dónde:

$$|Y| = -\frac{Lm = 1.5 \mu m}{2.9} \frac{X^2 - 1.9X + 0.405}{2.9}$$

Cálculo de Ra:

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

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

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

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

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

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

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

$$Ra = 0,0931 \mu m$$

C.3.3 CÁLCULO DEL PARÁMETRO Ra (Vástago de la aguja usada de la tobera del inyector marca Denso).

Análisis Matemático

Dónde:

$$|Y| = -\frac{Lm = 1.9 \mu m}{2.9} \frac{X^2 - 2.9X + 0.725}{2.9}$$

Cálculo de Ra:

$$Ra = \frac{1}{Lm} \int_0^{Lm} -\frac{X^2 - 2.9X + 0.725}{2.9} dx$$

$$Ra = \frac{1}{Lm} * -\frac{1}{2.9} \int_0^{Lm} X^2 - 2.9X + 0.725 dx$$

$$Ra = \frac{1}{Lm} * -\frac{1}{2.9} \left[\int_0^{Lm} X^2 dx - \int_0^{Lm} 2.9X dx + \int_0^{Lm} 0.725 dx \right]$$

$$Ra = \frac{1}{1.9} * -\frac{1}{2.9} \left[\frac{X^3}{3} - \frac{2.9X^2}{2} + 0.725 dx \right]$$

$$Ra = \frac{1}{1.9} * -\frac{1}{2.9} \left[\frac{(1.9)^3}{3} - \frac{(2.9)(1.9)^2}{2} + (0.725)(1.9) \right]$$

$$Ra = -0.1814(2.2863 - 5.2345 + 1.3775)$$

$$Ra = -0.4149 + 0.95 - 0.25$$

$$Ra = 0,285 \mu m$$

III. RESULTADOS OBTENIDOS

a. CONDICIONES INICIALES

Después de ser verificados matemáticamente los resultados del rugosímetro, se armó una tabla de valores, los cuales se puede observar los resultados de rugosidad que poseen las agujas de

inyección nuevas, tanto en cono como vástago:

Tabla 1. Condiciones iniciales del inyector Bosch CRDI

Rugosidad del cono de la aguja (μm)						
Ra	Rq	Rt	Rz	Rp	Rv	Rm
0.06	0.08	0.59	0.91	0.30	0.28	0.28
6	9	6	3	8	8	8
Rugosidad del vástago de la aguja (μm)						
1.18	1.64	5.34	16.4	2.55	2.78	2.78
8	5	5	26	9	6	6

Tabla 2. Condiciones iniciales inyector Denso CRDI

Rugosidad del cono de la aguja (μm)						
Ra	Rq	Rt	Rz	Rp	Rv	Rm
0.06	0.08	0.57	0.89	0.26	0.31	0.31
8	8	6	2	4	2	2
Rugosidad del vástago de la aguja (μm)						
0.09	0.12	0.80	1.92	0.36	0.44	0.44
3	1	7	6	5	2	2

Tabla 3. Condiciones iniciales inyector Delphi CRDI

Rugosidad del cono de la aguja (μm)						
Ra	Rq	Rt	Rz	Rp	Rv	Rm
0.0	0.0	0.71	1.03	0.3	0.40	0.40
40	88	8	4	12	6	6
Rugosidad del vástago de la aguja (μm)						
0.2	3.3	17.9	59.0	2.5	15.4	15.4
73	73	75	71	67	08	08

De igual manera se pone a consideración las mediciones de rugosidad provocadas por el desgaste; como se muestra en las siguientes tablas de datos:

Tabla 4. Condiciones finales inyector Bosch CRDI

Rugosidad superficial del cono de la aguja (μm)						
Ra	Rq	Rt	Rz	Rp	Rv	Rm
0.07	0.09	0.85	1.41	0.34	0.50	0.50
1	5	6	9	9	7	7
Rugosidad del vástago de la aguja (μm)						
1.83	2.44	9.63	34.6	2.07	7.56	7.56
1	8	6	15	2	4	4

Tabla 5. Condiciones finales inyector Denso CRDI

Rugosidad superficial del cono de la aguja (μm)						
Ra	Rq	Rt	Rz	Rp	Rv	Rm
0.0	0.1	0.68	0.89	0.2	0.3	0.3
86	12	5	2	92	93	93
Rugosidad del vástago de la aguja (μm)						
0.2	3.5	13.5	58.9	3.7	9.7	9.7
85	29	38	09	72	66	66

Tabla 6. Condiciones finales inyector Delphi CRDI

Rugosidad superficial del cono de la aguja (μm)						
Ra	Rq	Rt	Rz	Rp	Rv	Rm
0.0	0.0	0.66	0.93	0.3	0.29	0.29
70	93	5	3	73	2	2
Rugosidad del vástago de la aguja (μm)						
0.2	4.3	21.9	59.4	2.6	19.3	19.3
96	87	82	16	44	38	38

IV. CONCLUSIONES

- Con el estudio del análisis de rugosidad de las 3 marcas de inyectores nuevos en la parte de la aguja de la tobera se pudo determinar que el mejor acabado superficial tiene DENSO, en el vástago de la aguja y DELPHI, en la parte del cono de la misma.
- La clase de rugosidad de la aguja de la tobera de los inyectores es de (N1 a N4); esto quiere decir que tienen una superficie especular; además su proceso de fabricación es lapeado-pulido con un tratamiento térmico de níquel -cromo.
- La marca que tiene mayor desgaste en la parte cónica de la guja de la tobera del inyector es DENSO; y la que tiene mayor resistencia por su proceso de fabricación y tratamiento térmico es DELPHI.
- La marca que tiene mayor desgaste en la parte del vástago de la aguja de la tobera del inyector es BOSCH, con 0.643 μm , a diferencia de DENSO con

0.192 um y DELPHI 0.023 um.

- La parte del vástago de la aguja de la tobera del inyector marca DELPHI, con 0.023 um sufrió menor desgaste a diferencia de las otras marcas, debido a su proceso de fabricación y su material 18CrNi, con su composición química C 0.15 SI 0.15 Mn 0.40 P 0.035 S 0.035 CR 1.80.

V. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Alonso, J. M. (2001). *Técnicas del Automóvil: Sistema de Inyección de Combustión en los Motores Diésel*. Madrid: Paraninfo.
- [2] Bosch. (1999). *Manual de la Técnica del Automóvil*. Barcelona: Reverté.
- [3] INEN, N. (2012). *Instituto Ecuatoriano de Normalización*. Obtenido de Instituto Ecuatoriano de Normalización: <https://law.resource.org/pub/ec/ibr/ec.nte.1489.2012.pdf>
- [4] ISO. (2013). www.edu.xunta.gal. Obtenido de www.edu.xunta.gal: http://www.edu.xunta.gal/centros/cfrcoruna/aulavirtual2/file.php/186/Calidad_Superficial.pdf
- [5] Miralles, J., & Villalta, J. (1991). *Motor Diesel: Inyección y combustión*. Barcelona: CEAC.

BIOGRAFÍA:



Luis Mena Navarrete nació en la ciudad de Ambato, Ecuador. Es Ingeniero Automotriz, estudios de postgrado en Diseño de motores, Docente Tiempo completo en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE – Latacunga.



Stalin Mena, nació en la ciudad de Ambato, Ecuador. Es Ingeniero Automotriz, estudios de posgrado en Autotrónica, Gestión de la Producción, Docente Tiempo parcial en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE – Latacunga.