



## ING. AUTOMOTRIZ

**Trabajo integración Curricular previa a la obtención del título de Ingeniera en Mecánica en Automotriz.**

### **AUTORES:**

Avila Sanchez Isaac Alejandro  
Proaño Proaño Martin Alejandro  
Ulco Guambi Miguel Angel

### **DIRECTOR:**

Ing. Denny Javier Guanuche Larco  
Ing. Guillermo Gorky Reyes  
Campaña

Análisis del sistema hidráulico y electrónico en  
inyectores CRDI.

## CERTIFICACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros, AVILA SANCHEZ ISAAC ALEJANDRO, PROAÑO PROAÑO MARTIN ALEJANDRO y, ULCO GUAMBI MIGUEL ANGEL, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido presentado anteriormente para ningún grado o calificación profesional y que se ha consultado la bibliografía detallada.

Cedo mis derechos de propiedad intelectual a la Universidad Internacional del Ecuador, para que sea publicado y divulgado en internet, según lo establecido en la Ley de Propiedad Intelectual, su reglamento y demás disposiciones legales.



---

ISAAC AVILA



---

MARTIN PROAÑO



---

MIGUEL ULCO

**APROBACIÓN DEL TUTORES**

Yo, DENNY JAVIER GUANUCHE LARCO y Yo, GUILLERMO GORKY REYES CAMPAÑA certifico que conozco a los autores/as del presente trabajo siendo los responsables exclusivos tanto de su originalidad y autenticidad, como de su contenido.



---

GORKY REYES  
DIRECTOR DE TESIS



---

DENNY GUANUCHE  
DIRECTOR DE TESIS

### **Dedicatorias**

Dedico este artículo a tres personas que han sido una gran parte de mi vida y mi camino hacia la carrera de ingeniería automotriz: mi madre, mi padre y mi novia.

A mis papás, quiero agradecerles por su amor y apoyo incondicional durante todos mis años de estudio de la carrera de ingeniería automotriz. Gracias por creer en mí y por estar a mi lado en cada paso del camino, incluso en los momentos más difíciles. Sin su amor y dedicación, no podría haber logrado este éxito.

A mi novia, quiero agradecerle por ser mi compañera de vida y apoyo constante durante todos mis estudios. Gracias por ser mi roca y por estar a mi lado a través de todo. Su amor y comprensión han sido una bendición en mi vida y me han ayudado a mantenerme enfocado y motivado.

Este logro es también suyo, y estoy orgulloso de compartirlo con ustedes. Espero poder hacerlos orgullosos en el futuro.

Con amor y gratitud,  
Isaac Avila

Dedico a mi madre Lilian y a mi padre Alejandro por su amor. Gracias por creer en mí y por apoyarme en cada paso de este camino. Este logro es también suyo.

A mi tío Vinicio Proaño. Gracias por inspirarme y por ser un ejemplo a seguir en mi vida. Este logro es también un homenaje a su apoyo.

A por su amistad, apoyo y motivación en momentos difíciles. Gracias por estar ahí y por ser una parte fundamental de mi vida.

Esta dedicatoria es un pequeño gesto de agradecimiento hacia aquellas personas que han hecho posible la realización de este proyecto de titulación.

Con amor y gratitud,

Martin Proaño

Este proyecto de titulación se lo dedico a mi Mamá, Angela Guambi, y a mi Papá, Ramiro Ulco, por el apoyo y el amor brindado en todo mi proceso de preparación, ellos quienes han sabido guiarme por el camino del bien con el fin de poder honrar con los conocimientos adquiridos, brindándome el fruto de su esfuerzo y sacrificio para así ofrecerme un mejor futuro.

Ellos quienes enseñaron que con esfuerzo y sacrificio se puedo lograr las metes y cumplir los sueños que desde pequeño uno se plantea, ser mis apoyos y guías constantes en la realización de mis metas y sueños, con la bendición de Dios y la protección de la Virgen María me encaminan a ser mejor cada día.

Un padre y una madre cariños, valientes y sin tener miedo a cualquier obstáculo que se les presentes, juntos con su ejemplo me enseñan a ser constante, perseverante y a no rendirme con los obstáculos que nos da la vida, para así poder cumplir mis metas buscando el mejor camino del conocimiento y la verdad, les doy gracias por el tiempo, la paciencia y el amor que ellos me brindan cada día, con sus buenos consejos y motivaciones constante.

Con amor y gratitud,

Miguel Ulco

### **Agradecimientos**

Agradezco profundamente a todos aquellos que han sido una parte integral de mi carrera de ingeniería automotriz. En primer lugar, quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mis profesores y guías, los ingenieros que han compartido su conocimiento y experiencia conmigo. Gracias por inspirarme a seguir aprendiendo y creciendo en el campo de la ingeniería automotriz.

Además, quiero dar las gracias a mis padres por su amor y apoyo incondicional a lo largo de todos estos años. Gracias por creer en mí y por estar a mi lado en cada paso del camino. Sin su amor y apoyo, no podría haber logrado este éxito.

Agradezco a todos ustedes por ser parte de mi camino y por ayudarme a llegar hasta aquí. Espero seguir aprendiendo de ustedes y honrando sus enseñanzas en mi futuro como ingeniero automotriz.

Con gratitud,

Isaac Avila

Agradezco a todas aquellas personas que me han brindado su apoyo y ayuda durante la elaboración de este artículo de análisis. En primer lugar, quiero expresar mi más sincera gratitud a mis tutores los Ingenieros Gorky Reyes y Denny Guanuchi quienes nos guiaron con su experiencia y conocimientos, y estuvieron siempre dispuestos a brindar su apoyo incondicional.

También quiero agradecer a mis compañeros y amigos Isaac Ávila y Miguel Ulco, quienes me brindaron su apoyo emocional y motivación en momentos difíciles.

No quisiera olvidar a la Universidad Internacional del Ecuador por brindarme las herramientas y recursos necesarios para llevar a cabo esta investigación.

Por último, pero no menos importante, agradezco a mi familia, especialmente a mis padres Lilian Dolores Proaño Moreno y Wilson Alejandro Proaño Morales por su amor incondicional y por estar siempre ahí para apoyarme en todo momento.

Gracias a todos por hacer posible la realización de esta proyecto de titulación.

Con gratitud,  
Martin Proaño



A agradezco a Dios y Virgen María por brindarme protección, salud y vida, por darme un día más de vida en el cual ellos guían mi sendero, por darme la sabiduría que me brindo para poder cumplir una meta más en la vida.

También doy gracias a los ingenieros que conforman la escuela de ingeniería automotriz quienes son los guías en nuestro proceso de aprendizaje tanto en lo estudiantil como en lo laboral, gracias por darnos sus buenos consejos, brindarnos sus conocimientos y sabiduría para así seguir adelante en la vida profesional y un especial agradecimiento de los Ingenieros Gorky Reyes y Denny Guanuchi quienes fueron nuestros guías en este trabajo de titulación aportándonos con sus conocimientos y consejos para realizar un excelente trabajo.

Doy gracias también a mi papa Ramiro, a mi mama Angela, a mi hermano Cristian y a mi hermano que desde el cielo me está cuidando Geovani, quienes han estado apoyándome tanto en persona como espiritualmente, a ellos quienes me dan ánimos, unas palabras de aliento que nunca faltaron, esa motivación que me brindaban para yo poder seguir luchando y esforzándome para cumplir mis metas personales como profesionales, gracias por estar cuando les necesitaba y un especial agradecimiento a mi primo Roberto y a su esposa Raquel por el apoyo brindado en este proceso de estudios.

Con gratitud,

Miguel Ulco

## Índice de Contenido

CERTIFICACIÓN DE AUTORÍA .....	ii
APROBACIÓN DEL TUTORES .....	iii
Dedicatorias .....	iv
Agradecimientos .....	vii
Índice de Contenido.....	x
Índice de Figuras .....	xi
Índice de Tablas.....	xii
Resumen .....	2
Abstract.....	2
Introducción.....	4
Marco Teórico .....	6
Motores Diesel con Sistema CRDI.....	6
Inyector del Sistema CRDI.....	6
Etapas de funcionamiento del inyector.....	7
Etapa de control de alta presión.....	7
Etapa de activación de inyectores.....	9
Sistemas Hidráulico y Electrónico en Inyectores CRDI .....	11
Materiales y Métodos .....	11
Método.....	11
Materiales .....	11
Vehículos .....	11
Inyectores.....	14
Combustible y Líquido de Pruebas.....	16
Equipos de medición .....	18
Normativas .....	20

Resultados y discusión .....	22
Análisis eléctrico .....	22
Análisis Hidráulico .....	24
Análisis Físico .....	25
Conclusiones.....	30
Bibliografía.....	31
Anexos .....	33

### Índice de Figuras

Figura 1: <i>Inyector en estado de cierre</i> .....	8
Figura 2 : <i>Inyector en estado de apertura</i> .....	8
Figura 3: <i>Inyector cerrado</i> .....	9
Figura 4: <i>Inicio de activación</i> .....	9
Figura 5: <i>Fase de mantenimiento</i> .....	10
Figura 6: <i>Fase de cierre</i> .....	10
Figura 7: <i>Inyectores Bosch</i> .....	14
Figura 8: <i>Inyectores Denso</i> .....	15
Figura 9: <i>Inyectores Delphi</i> .....	16
Figura 10 : <i>Ohmiómetro</i> .....	18
Figura 11: <i>FSA 050</i> .....	18
Figura 12: <i>PS 205</i> .....	19
Figura 13: <i>FSA 740</i> .....	19
Figura 14: <i>Medidor de presión de Inyectores</i> .....	20
Figura 15: <i>Microscopio</i> .....	20
Figura 16: <i>Prueba de resistencia</i> .....	23
Figura 17: <i>Prueba de resistencia</i> .....	23
Figura 18: <i>Prueba de estanquidad y retorno</i> .....	24
Figura 19: <i>Desgaste en la tobera del inyector</i> .....	25
Figura 20: <i>Anillo de teflón desgastado</i> .....	25
Figura 21: <i>Inyector en Banco de pruebas</i> .....	26
Figura 22: <i>Inyector conectado al FSA 740</i> .....	26

Figura 23: <i>Forma de onda osciloscopio</i> .....	27
Figura 24: <i>Diagrama de barras de RPM y Presiones</i> .....	28
Figura 25: <i>Grafico de barras de RPM y Presiones</i> .....	28

### Índice de Tablas

Tabla 1: <i>Fica Técnica Mazda Bt-50</i> .....	12
Tabla 2: <i>Fica Técnica Hyundai Terracan</i> .....	12
Tabla 3: <i>Fica Técnica Toyota Hilux</i> .....	13
Tabla 4: <i>Codificación Inyectores Bosch</i> .....	14
Tabla 5: <i>Codificación de Inyectores Denso</i> .....	15
Tabla 6 <i>Codificación Inyectores Delphi</i> .....	15
Tabla 7: <i>Requisitos para el diésel</i> .....	16
Tabla 8: <i>Especificaciones del líquido Viscor</i> .....	17
Tabla 9: <i>Medición de aislamiento de máquinas rotativas</i> .....	21
Tabla 10 <i>Resistencia Aceptable</i> .....	21
Tabla 11 <i>Resistencias recomendadas con el equipo</i> .....	21
Tabla 12: <i>Datos obtenidos de la prueba de resistencia y aislamiento</i> .....	23
Tabla 13: <i>Prueba de retorno y estanqueidad</i> .....	24
Tabla 14: <i>Valores de Inyectores Diesel con marcas Bosch, Denso y Delphi</i> .....	29

## Resumen

Los inyectores CRDI son un tipo de inyectores de combustible utilizados en motores Diesel. Por lo tanto, es importante realizar un análisis regular del sistema hidráulico y electrónico de los inyectores CRDI para detectar cualquier problema y tomar medidas correctivas a tiempo; un análisis detallado del sistema hidráulico y electrónico de los inyectores CRDI ayuda a identificar áreas de mejora en su diseño y tecnología, lo que puede contribuir a un rendimiento más eficiente y confiable del motor. El análisis de los sistemas es un campo de estudio que se ha desarrollado en los últimos años debido a la creciente importancia de los sistemas de inyección de combustible en el rendimiento y eficiencia de los motores de combustión interna. En el análisis de datos se aplicará un método inductivo para el desarrollo de procesos de mantenimiento, calibración y entre otros procesos que se puede realizar a los inyectores Diesel CRDI, y así mismo con la ayuda del método cuantitativo en la recolección de datos en valores numéricos para realizar las respectivas pruebas en el equipo EPS-205. Esta investigación será realizada en las instalaciones de la escuela de Ingeniería Automotriz en la Universidad Internacional del Ecuador a una altura de 2800 metros sobre el nivel del mar. Teniendo eso en cuenta, la representación de los datos obtenidos nos permitirá interpretar si los inyectores CRDI cumplen con los valores referenciales según sus normas, son cruciales para determinar el correcto funcionamiento e identificar las fallas en dichos sistemas.

**Palabras clave:** inyector, sistema eléctrico, sistema hidráulico, presión

## Abstract

CRDI injectors are a type of fuel injectors used in Diesel engines. Therefore, it is important to carry out a regular analysis of the hydraulic and electronic system of the CRDI injectors in order to detect any problems and take corrective measures in time; A detailed analysis of the hydraulic and electronic system of CRDI injectors helps to identify areas for improvement in their design and technology, which can contribute to more efficient and reliable engine performance. Systems analysis is a field of study that has developed in recent years due to the increasing importance of fuel injection systems in the performance and efficiency of internal combustion engines. In the data analysis, an inductive method will be applied for the development of maintenance processes, calibration and among other processes that can be carried out on CRDI Diesel injectors, and likewise with the help of the quantitative method in data collection in numerical

values. to perform the respective tests on the EPS-205 equipment. This research will be carried out at the facilities of the School of Automotive Engineering at the International University of Ecuador at an altitude of 2800 meters above sea level. With that in mind, the representation of the data obtained will allow us to interpret if the CRDI injectors comply with the reference values according to their standards, which are crucial to determine the correct operation and identify failures in such systems.

***Key words:*** injector, electronic system, hydraulic system, pressure

## Introducción

El sistema hidráulico y electrónico en inyectores CRDI es un tema crucial en la industria automotriz. Los inyectores CRDI son un tipo de inyectores de combustible utilizados en motores Diesel. Su diseño hidráulico y electrónico es esencial para su correcto funcionamiento y para lograr un rendimiento óptimo del motor. Un problema común en estos inyectores es el desgaste y la obstrucción de sus componentes, lo que afecta su rendimiento y provocar fallas en el motor. Por lo tanto, es importante realizar un análisis regular del sistema hidráulico y electrónico de los inyectores CRDI para detectar cualquier problema y tomar medidas correctivas a tiempo; un análisis detallado del sistema hidráulico y electrónico de los inyectores CRDI para identificar áreas de mejora en su diseño y tecnología, lo que contribuirá a un rendimiento más eficiente y confiable del motor. El análisis del sistema hidráulico y electrónico en inyectores CRDI es un campo de estudio que se ha desarrollado en los últimos años debido a la creciente importancia de los sistemas de inyección de combustible en el rendimiento y eficiencia de los motores de combustión interna.

Este artículo tiene como objetivo analizar el funcionamiento de los sistemas hidráulicos y electrónicos en los inyectores CRDI para la comprobación de su estado en los vehículos Diesel que circulan en el distrito metropolitano de Quito en un banco de pruebas de inyección de la Universidad Internacional del Ecuador (UIDE), también debe cumplir con los siguientes objetivos específicos de investigar información de los sistemas hidráulicos y electrónicos de inyectores CRDI, analizar el funcionamiento de los sistemas hidráulicos y electrónicos de inyectores CDRI, comprobar la información recolectada para la verificación de su estado de funcionamiento.

Según un estudio publicado en la revista SAE International, "la utilización de sistemas de inyección de combustible common rail (CRDI) se ha vuelto cada vez más común en motores Diesel debido a su alta precisión y flexibilidad en el control de la cantidad de combustible inyectado". (Yoon et al., 2008)

Otro estudio publicado en la revista Fuel, señala que "el sistema de inyección de combustible CRDI tiene la capacidad de mejorar significativamente el rendimiento del motor en términos de emisiones y eficiencia energética, en comparación con los sistemas de inyección de combustible convencionales". (Saputro et al., 2015)

Otro estudio realizado en la Universidad Politécnica Salesiana del Ecuador con el tema de "identificación del fallo de los inyectores de un MEC mediante el análisis de las señales de los sensores CKP y CMP utilizando RNA". (Calderón Orellana, 2022)

Otro estudio realizado en la Universidad Internacional SEK con el tema de “Análisis de comportamiento y simulación de un Common Rail mediante el uso de técnicas de manejo apropiado y ecológicas para la optimización del riel”. (Leguisamo Milla, 2018)

Un artículo científico publicado por la Universidad de las Fuerzas Armadas con el tema “Análisis de desgaste de las toberas de los inyectores de sistemas CRDI a través el uso del rugosímetro”. (Lara Sánchez & Monteros Montenegro, 2016)

Otro artículo publicado por la revista chilena de ingeniería con el tema “Estudio de rugosidad por análisis de Fourier de las toberas de inyectores en sistemas riel común (CRDI)”. (Navarrete, y otros, 2018)

Otro artículo publicado por la revista incitec con el tema “Diagnóstico de los componentes del sistema Common Rail Denso implementados en vehículos Isuzu e Hino”. (Rojas & Quinteros, 2021)

Otro artículo publicado por la revista multidisciplinaria universidad, ciencias y tecnología con el tema de activation and control of diesel injectors crdi of trademarks denso and Delphi. (Rodrigo, M, T, & V, 2019)

El análisis del sistema hidráulico y electrónico en inyectores CRDI es un campo de estudio que se ha desarrollado en los últimos años debido a la creciente importancia de los sistemas de inyección de combustible en el rendimiento y eficiencia de los motores de combustión interna (Yoon et al., 2008).

Un sistema hidráulico es un sistema que utiliza fluidos para transferir y controlar energía mecánica. En el caso de los inyectores CRDI, el sistema hidráulico se utiliza para controlar la cantidad de combustible que se inyecta en el motor (Saputro et al., 2015). Esto se logra mediante la utilización de una bomba de alta presión que genera un flujo constante de combustible hacia el inyector, y una válvula que permite regular la cantidad de combustible que se inyecta en el motor en cada ciclo de combustión.

Un sistema electrónico, por otro lado, es un sistema que utiliza señales eléctricas para controlar y regular el funcionamiento de un dispositivo o sistema. En el caso de los inyectores CRDI, el sistema electrónico se utiliza para controlar el funcionamiento del sistema hidráulico y garantizar que se inyecte la cantidad correcta de combustible en el motor en todo momento (Yoon et al., 2008).

El análisis del sistema hidráulico y electrónico en inyectores CRDI implica examinar cómo estos sistemas trabajan juntos para controlar la cantidad de combustible que se inyecta en el motor (Yoon et al., 2008). Esto puede incluir la identificación de



posibles problemas en el funcionamiento de los sistemas, así como la propuesta de soluciones para mejorar su eficiencia y rendimiento (Saputro et al., 2015).

## **Marco Teórico**

### **Motores Diesel con Sistema CRDI**

Los motores Diesel con sistema de inyección directa common rail (CRDI) son una tecnología reciente en la industria automotriz. El sistema CRDI se introdujo por primera vez en el mercado en los años 90 por la compañía italiana FPT Industrial. Este sistema se caracteriza por tener una bomba de alta presión y una válvula reguladora de presión común para todos los cilindros del motor (Gilles T, 2014).

Los motores Diesel CRDI ofrecen varias ventajas sobre los motores Diesel tradicionales de inyección indirecta. En primer lugar, la inyección directa permite un mejor control de la cantidad de combustible que se inyecta en el motor, lo que resulta en una combustión más completa y una reducción en las emisiones de contaminantes. Además, el sistema CRDI permite una mayor eficiencia en el uso del combustible y una mayor potencia en comparación con los motores Diesel de inyección indirecta (SAE Internacional, 2019).

En resumen, los motores Diesel con sistema de inyección directa common rail (CRDI) son una tecnología reciente en la industria automotriz, se introdujo por primera vez en los años 90 por la compañía italiana FPT Industrial, y ofrece varias ventajas sobre los motores Diesel tradicionales de inyección indirecta, como mejor control de la cantidad de combustible que se inyecta en el motor, una combustión más completa y una reducción en las emisiones de contaminantes, mayor eficiencia en el uso del combustible y mayor potencia.

### **Inyector del Sistema CRDI**

Los inyectores Diesel CRDI tienen algunas piezas internas específicas que son diferentes a los inyectores Diesel tradicionales (SAE Internacional, 2019). A continuación, se describen algunas de las principales partes internas de un inyector Diesel CRDI:

**Válvula de inyección:** es la pieza que se encarga de abrir y cerrar el paso del combustible hacia el interior del inyector. Está compuesta de una varilla y un resorte que permite su movimiento.

**Inyector:** es la pieza que se encarga de inyectar el combustible en el motor, es un orificio que se encuentra en la parte superior del inyector y que se abre y cierra para inyectar el combustible.

**Cuerpo:** es la pieza que aloja las partes internas del inyector, está compuesto de varios materiales dependiendo del tipo de inyector, puede ser de acero o aleaciones de alta resistencia.

**Conector eléctrico:** es la pieza que permite la conexión eléctrica entre el inyector y el controlador de inyección de combustible.

**Conector hidráulico:** es la pieza que permite la conexión hidráulica entre el inyector y la bomba de alta presión.

**Válvula solenoide:** es la pieza que se encarga de controlar la cantidad de combustible que se inyecta, se activa mediante una señal eléctrica enviada desde el controlador de inyección de combustible.

## **Etapas de funcionamiento del inyector**

### ***Etapas de control de alta presión***

Se divide en cuatro estados de funcionamiento desde el cual combustible es dirigido a través de la bomba de alta presión a través de las cañerías de alimentación de los inyectores y da comienzo a los cuatro estados de funcionamiento del inyector: Inyector cerrado; Apertura del inyector; Inyector totalmente abierto; Cierre del inyector.

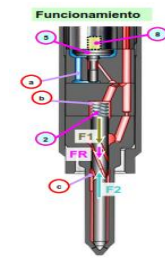
### ***Inyector no comandado***

F1 = Esfuerzo ejercido por la presión que reina en el volumen de mando.

F2 = Esfuerzo ejercido sobre la sección de la aguja de inyector.

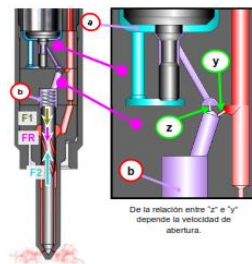
FR = Calibrado del resorte de retorno de la aguja de inyector.

**$F2 < F1 + FR$  entonces Inyector cerrado**

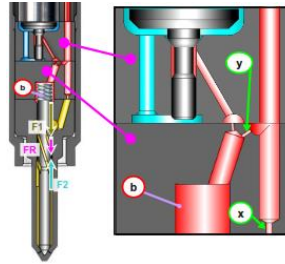
**Figura 1:*****Inyector en estado de cierre*****Nota: Tomado de (Vega & Guamangate, 2016)*****Inyector comandado***

En el momento oportuno, el computador alimenta la electroválvula, la cual, ayudada hidráulicamente, levanta la válvula.

$F2 > F1 + FR$  entonces Inyector abierto

**Figura 2 :*****Inyector en estado de apertura*****Nota: Tomado de: (Vega & Guamangate, 2016)*****Inyector no comandado***

El ECM corta la alimentación de la electroválvula.

**Figura 3:*****Inyector cerrado***

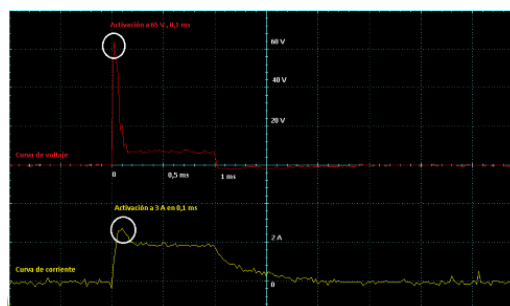
**Nota:** Tomado de: (Vega & Guamangate, 2016)

***Etapas de activación de inyectores***

El proceso para activar el inyector se divide en cinco etapas, las cuales son reguladas por el módulo de control electrónico: Fase de apertura; Fase de corriente inicial de arranque; Fase de corriente de mantenimiento; Desconexión; Recarga mediante convertidor de refuerzo

**Inicio de activación:**

La etapa de activación del inyector CRDi es el momento en el que el inyector se abre para inyectar combustible en el cilindro del motor. La etapa de activación del inyector CRDi es crucial para el correcto funcionamiento y la eficiencia del motor Diesel. En la fase de activación los rangos de voltaje son de 0 a 65 voltios y de 0 a 3 amperios por 1 milisegundo

**Figura 4:*****Inicio de activación***

**Nota:** Tomado de: (Vega & Guamangate, 2016)

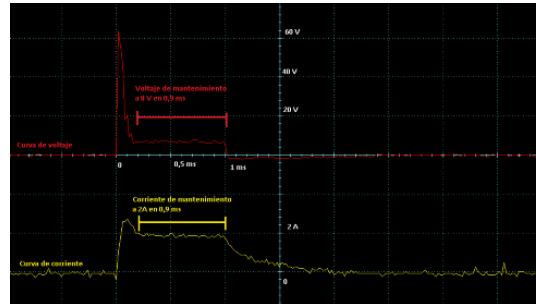
**Fase de mantenimiento**

Después de la activación del inyector CRDi, se produce la inyección de combustible en el cilindro del motor Diesel. Durante este proceso, la unidad de control

electrónica regula la presión de combustible en el rail común y abre los inyectores para inyectar la cantidad precisa de combustible en cada ciclo de combustión. Es importante que la activación del inyector CRDi y el proceso posterior se realice de manera precisa y eficiente para garantizar un funcionamiento correcto y eficiente del motor. En la fase de mantenimiento el voltaje cae a 8 voltios y se mantiene en 2 amperios por 9 milisegundo

### Figura 5:

#### *Fase de mantenimiento*



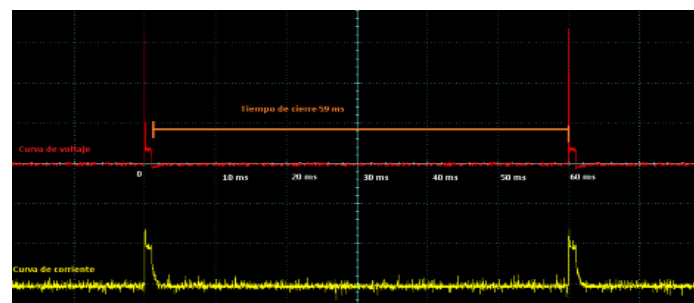
**Nota:** Tomado de: (Vega & Guamangate, 2016)

#### **Fase de cierre**

La fase de cierre del inyector CRDi es el momento en el que el inyector se cierra para detener la inyección de combustible en el cilindro del motor Diesel. La unidad de control mantiene una presión constante en el rail común mediante una válvula reguladora, y luego cierra los inyectores para detener la inyección de combustible. En la fase de cierre el voltaje cae a 0 voltios y el amperaje igual a 0 amperios y se mantienen por 59 milisegundos hasta que se produzca otra vez el inicio de la inyección

### Figura 6:

#### *Fase de cierre*



**Nota: Tomado de: (Vega & Guamangate, 2016)**

### **Sistemas Hidráulico y Electrónico en Inyectores CRDI**

Los sistemas hidráulicos y electrónicos son fundamentales para el correcto funcionamiento de los inyectores de inyección directa common rail (CRDI).

En cuanto al sistema hidráulico, este se compone de una bomba de alta presión y una válvula reguladora de presión, que permiten controlar la cantidad de combustible que se inyecta en el motor. La bomba de alta presión genera una presión de inyección de hasta 1600 bar, lo que permite una precisión en la inyección de combustible (International Journal of Automotive Technology, 2019).

En cuanto al sistema electrónico, este se compone de un controlador de inyección de combustible y un sensor de posición del pedal del acelerador, el controlador de inyección de combustible recibe información del sensor de posición del pedal del acelerador y envía señales eléctricas a la válvula reguladora de presión para controlar la apertura y cierre de la misma y determinar la cantidad de combustible que se inyecta en el motor ( IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2020).

## **Materiales y Métodos**

### **Método**

En el análisis de datos se aplicó un método inductivo para el desarrollo de procesos de mantenimiento, calibración, entre otros procesos que pueden realizarse a los inyectores Diesel CRDI, y así mismo será aplicado el método deductivo para realizar las respectivas pruebas en el equipo EPS-205.

Con la ayuda del método cuantitativo con la recolección de datos en valores numéricos, se realizó un análisis en los inyectores Diesel CRDI con los diferentes equipos, para la obtención de datos en los diferentes estados de funcionamiento del inyector realizados con la máquina de pruebas EPS-205, también para la prueba de estanqueidad se utilizó la máquina de pruebas mecánicas de inyectores Diesel, así mismo con los diferentes instrumentos de medición eléctrica.

### **Materiales**

#### ***Vehículos***

Un vehículo CRDi es un automóvil que utiliza un sistema de inyección de combustible common rail direct (CRDi). Este sistema es un tipo avanzado de inyección de combustible que permite una mayor eficiencia energética y un mejor rendimiento en

comparación con otros sistemas de inyección de combustible. En un vehículo CRDi, el combustible se almacena en una línea común (conocida como "línea de ferrocarril común") y se inyecta directamente en los cilindros del motor, lo que aumenta la eficiencia de combustión y reduce las emisiones de gases contaminantes. Además, los vehículos CRDi suelen tener una mejor aceleración y una mayor economía de combustible que los vehículos con sistemas de inyección de combustible más antiguos.

### ***Mazda BT-50 2.5 Diesel***

Entre sus especificaciones técnicas tenemos:

#### **Tabla 1:**

##### *Ficha Técnica Mazda Bt-50*

<b>Ficha técnica Mazda Bt-50</b>	
Prestaciones	
Velocidad máxima (km/h)	158
Potencia	
Normativa de medida	CEE
Potencia máxima (kW)	105
Potencia máxima (CV)	143
Rpm para la potencia máxima (mín.)	3500
Par máxima (en Nm)	330
Rpm para el par máximo (mín.)	1800
<b>Combustible y Alimentación Motor</b>	
Inyección	Diesel "common rail"
Combustible	Diesel
Tipo de combustible Primario	Diesel
Tipo	Principal
Capacidad (l)	70

**Nota:** Fuente: Autores

### ***Hyundai Terracan 2.9 Diesel***

Entre sus especificaciones técnicas tenemos:

#### **Tabla 2:**

##### *Ficha Técnica Hyundai Terracan*

<b>Ficha técnica Hyundai Terracan 2.9 Diesel</b>	
--	--

Prestaciones	
Velocidad máxima (km/h)	168
Potencia	
Normativa de medida	NEDC
Potencia máxima (kW)	120
Potencia máxima (CV)	163
Rpm para la potencia máxima (mín.)	3800
Par máxima (en Nm)	343
Rpm para el par máximo (mín.)	3000
Combustible y Alimentación Motor	
Inyección	Diesel “common rail”
Combustible	Diesel
Tipo de combustible Primario	Diesel
Tipo	Principal
Capacidad (l)	75

**Nota:** Fuente: Autores

- **Toyota Hilux 3.0 Diesel**

**Tabla 3:**

*Ficha Técnica Toyota Hilux*

Ficha técnica Toyota Hilux 3.0 Diesel	
Prestaciones	
Velocidad máxima (km/h)	170
Potencia	
Normativa de medida	NEDC
Potencia máxima (kW)	126
Potencia máxima (CV)	171
Rpm para la potencia máxima (mín.)	3600
Par máxima (en Nm)	343
Rpm para el par máximo (mín.)	3400
Combustible y Alimentación Motor	
Inyección	Diesel “common rail”
Combustible	Diesel
Tipo de combustible Primario	Diesel



Tipo	Principal
Capacidad (l)	80

*Nota:* Fuente: Autores

### ***Inyectores***

Un inyector CRDi es un tipo de inyector que se utiliza en los sistemas de inyección de combustible common rail direct (CRDi). Este tipo de inyector se encarga de inyectar la cantidad correcta de combustible en los cilindros de un motor de combustión interna. Los inyectores CRDi se caracterizan por su alta presión de inyección y su capacidad para controlar precisamente la cantidad de combustible que se inyecta en el motor. Esto permite una mayor eficiencia energética y una reducción en las emisiones de gases contaminantes

### ***Inyector marca BOSCH***

Entre sus especificaciones tenemos: 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.

### **Tabla 4:**

#### *Codificación Inyectores Bosch*

INYECTOR	CODIFICACIÓN
CRI 1: Bosch	0445110-254
CRI 2: Bosch	0445110-250
CRI 2.1: Bosch	0445110-293

*Nota:* Fuente: Autores

### **Figura 7:**

#### ***Inyectores Bosch***



*Nota:* Fuente: Autores

### ***Inyector marca DENSO***

Entre sus especificaciones tenemos: 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.

#### **Tabla 5:**

*Codificación de Inyectores Denso*

<b>INYECTOR</b>	<b>CODIFICACIÓN</b>
Denso	095000-6367
Denso	095000-6520
Denso	23670-0L110

*Nota:* Fuente: Autores

#### **Figura 8:**

*Inyectores Denso*



*Nota:* Fuente: Autores

### ***Inyector marca DELPHI***

Entre sus especificaciones tenemos: 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

#### **Tabla 6**

*Codificación Inyectores Delphi*

<b>INYECTOR</b>	<b>CODIFICACIÓN</b>
Delphi	JBR03701D
Delphi	EJBR03701D

*Nota:* Fuente: Autores

### **Figura 9:**

*Inyectores Delphi*



*Nota:* Fuente: Autores

### **Combustible y Liquido de Pruebas**

#### **Especificaciones del combustible utilizado en Ecuador**

**Diesel:** es un combustible derivado del petróleo, usado en motores Diesel para generar energía y mover vehículos, barcos y generadores eléctricos. Tiene características distintas a la gasolina, incluyendo un mayor contenido de energía por unidad de volumen y un punto de inflamación más alto.

### **Tabla 7:**

*Requisitos para el diésel*

REQUISITO	UNIDAD	DIESEL No. 1		DIESEL No.2		Diesel Premium		Método de ensayo
		min.	máx.	min.	máx.	min.	máx.	
Punto de Inflamación	°C	40		51		51		ASTM D93
Contenido de agua y sedimento	%		0.05		0.05		0.05	ASTM D2709
Contenido de ceniza	%		0.01		0.01		0.01	ASTM D482
Contenido de azufre	%		0.3		0.7		0.05	ASTM D2622 ASTM D4294 ASTM D5453
Contenido de residuo carbonoso sobre	%		0.01		0.1		0.1	ASTM D4530

el 10% de  
residuo destilado

Viscosidad cinemática a 30 °C	mm <sup>2</sup> /s	1.3	2.4	2.0	5.0	2.0	5.0	ASTM D445
Temperatura de destilación del 90 %	°C		288		360		360	ASTM D86
Corrosión a la lámina de cobre			1a		1a		1 <sup>a</sup>	ASTM D130
Índice de cetano calculado			45			45		ASTM D976
Contenido de biodiésel	%			5	5	5	10	EN 14078

- % corresponde a fracción de volumen expresada en porcentaje.
- % corresponde a fracción de masa expresada en porcentaje.
- La determinación del contenido de biodiesel se debe realizar cuando esté adicionado en el diésel.

**Nota:** Autores

#### **Fluido EPS205:**

**Viscor:** Es un líquido de calibración utilizado en el proceso de calibrado de los sistemas de inyección y bombeo de combustible de motores diésel. Cumple las funciones de permitir un ajuste reproducible de los sistemas de inyección diésel, proteger las piezas contra la corrosión y el óxido, ahorrar combustible, mejorar las emisiones de gases de escape, y servir como líquido conservante para los componentes almacenados una vez calibrados. En la siguiente tabla se observará sus especificaciones:

**Tabla 8:**

*Especificaciones del líquido Viscor*

<b>ESPECIFICACION</b>	<b>VALOR</b>
NORMATIVA ISO	4113
SAE	J 967D
Bosch Vs	15665-OL-CL
Densidad a 15 °C, kg/l	0.820
Viscosidad a 40 °C, mm <sup>2</sup> /s	2.62
Viscosidad a 100 °C, mm <sup>2</sup> /s	1.07
Punto de ignición PM, °C	102
Punto de fluidez, °C	-33

*Nota:* Fuente: Autores

### ***Equipos de medición***

#### ***Ohmiómetro***

El instrumento permite medir los diferentes parámetros eléctricos como resistencia en el caso del bobinado de un inyector, permite medir voltaje, intensidad, continuidad, entre otros.

#### **Figura 10 :**

##### ***Ohmiómetro***



*Nota:* Fuente: Autores

#### ***FSA 050 BOSCH***

El dispositivo portátil de diagnósticos en sistemas de inyección de combustible Diesel Common Rail permite realizar pruebas de presión, mediciones de corriente y voltaje y pruebas de electroválvulas. Es esencial para técnicos y mecánicos en mantenimiento y reparación de sistemas de inyección de combustible Common Rail.

#### **Figura 11:**

##### ***FSA 050***



*Nota:* Fuente: Autores

- **EPS 205 BOSCH**

El equipo de diagnóstico para sistemas de inyección de combustible Common Rail permite realizar pruebas de presión, mediciones de corriente y voltaje, pruebas de electroválvulas y medición de cantidad de combustible inyectado. Es esencial para

técnicos y mecánicos en mantenimiento y reparación de sistemas de inyección de combustible Common Rail, permite detectar fallas en estos sistemas

**Figura 12:**

*PS 205*



*Nota:* Fuente: Autores

***FSA 740 BOSCH***

Consiste en un módulo de medición completo para comprobar los sistemas eléctricos en los vehículos, el cual está implementado un osciloscopio de 2 canales de altas prestaciones que ofrece una gran variedad de muestreos de 50 MS/S.

**Figura 13:**

*FSA 740*



*Nota:* Fuente: Autores

***Medidor de presión de Inyectores***

El equipo permite ver el goteo y el retorno en los inyectores Diesel, la prueba se le denomina estanqueidad.

**Figura 14:**

*Medidor de presión de Inyectores*



*Nota:* Fuente: Autores

***Microscopio***

Este quipo permite realizar un zoom a los objetos analizados para su revisión a profundidad y verlos con más detalle.

**Figura 15:**

*Microscopio*



*Nota:* Fuente: Autores

***Normativas******Pruebas de aislamiento y resistencia en base la norma IEEE 43-2000***

La norma IEEE 43 fue creada en 1974 y luego actualizada en el 2000. Es muy útil para la industria ya que regula las pruebas eléctricas para motores eléctricos en términos de Índice de Polarización, Absorción Dieléctrica y Megohm. Establece los niveles de voltaje para aplicar a diferentes máquinas eléctricas en función de su voltaje de operación, humedad, temperatura, etc. Por ejemplo, para motores de bajo voltaje con voltaje de operación menor a 1000 voltios, establece un voltaje de prueba de 500 voltios (MYG Inc Motores Eléctricos, s.f.).

**Tabla 9:***Medición de aislamiento de máquinas rotativas*

<b>Voltaje de Funcionamiento</b>	<b>Tensión Aplicada en Corriente continua</b>
< 1000	500
1000 - 2500	500 – 1000
2501 - 5000	1000 – 2500
5001 – 12000	2500 – 5000
> 12000	500 - 10000

*Nota:* Tomado de: (Arnoux, 2019)**Tabla 10***Resistencia Aceptable*

<b>Tensión Nominal Motor</b>	<b>Medida Resistencia Aceptable</b>
0 – 208 V	100 000 $\Omega$
208 – 240 V	200 000 $\Omega$
240 – 600 V	300 000 $\Omega$
600 – 1000 V	1 M $\Omega$
1000 – 2400 V	2 M $\Omega$
2400 – 5000 V	3M $\Omega$

*Nota:* Tomado de: (Arnoux, 2019)**Tabla 11***Resistencias recomendadas con el equipo*

<b>Tensión Nominal del Equipo</b>	<b>Medida Resistencia Recomendada</b>
250 V	25 M $\Omega$
600 V	100 M $\Omega$
1000 V	100 M $\Omega$
5 000 V	1 000 M $\Omega$
15 000 V	5 000 M $\Omega$

*Nota:* Fuente: Autores*Pruebas la maquina mecánica de comprobadores de inyectores Diesel y EPS 205*



El probador de inyector diésel y el EPS 205 trabajan con varias normativas para garantizar la precisión y confiabilidad de las pruebas realizadas. Algunas de las normativas comunes que se utilizan incluyen:

**ISO 4113:** que establece los procedimientos para probar la estanqueidad de los inyectores Diesel.

**ISO 5182:** que establece los procedimientos para probar la capacidad de retorno de los inyectores Diesel.

**ISO 9001:** que es un estándar internacional para la gestión de la calidad y se aplica a una amplia variedad de industrias y organizaciones.

**ISO/TS 16949:** especifica los requisitos para un sistema de gestión de la calidad en las organizaciones de fabricación de productos para automóviles.

**OEM** (Original Equipment Manufacturer): Las especificaciones de los fabricantes de equipos originales también pueden ser utilizadas para garantizar que el probador cumpla con los requisitos específicos de cada marca y modelo de vehículo.

Sin embargo, es importante tener en cuenta que cada fabricante de probadores de inyectores Diesel multifunciones puede tener su propia normativa, es recomendable revisar las especificaciones del fabricante para conocer las normas con las que trabaja el equipo.

## **Resultados y discusión**

### ***Análisis eléctrico***

En la prueba de resistencia se realiza con el multímetro poniendo el multímetro en el parámetro de medir resistencia, colocando las puntas de los comprobados en las entradas de corriente de la bobina y en la prueba de aislamiento con la maquina FSA 050 colocando el maquina en el parámetro de 500 V, coloque la pinza de la maquina en la carcasa del inyector y la otra punta en el conector de la bobina en los pines, presionar el botón colocado en la punta por un mínimo de tiempo de 20 segundos para tener una medición más precisa.

**Figura 16:***Prueba de resistencia**Nota:* Fuente: Autores**Figura 17:***Prueba de resistencia**Nota:* Fuente: Autores**Tabla 12:***Datos obtenidos de la prueba de resistencia y aislamiento*

<b>Inyector tipo</b>	<b>Resistencia</b>	<b>Aislamiento</b>	
Bosch CRI 1: 0445110-254	0.2 $\Omega$	17.7 G $\Omega$	31.8 G $\Omega$
Bosch CRI 2: 0445110-250	0.3 $\Omega$	5.7 G $\Omega$	5.9 G $\Omega$
Bosch CRI 2.1: 0445110-293	0.4 $\Omega$	20.5 G $\Omega$	10 G $\Omega$
Denso 095000-6367	0.6 $\Omega$	19.3 G $\Omega$	13.4 G $\Omega$
Denso 095000-6520	0.5 $\Omega$	47.96 G $\Omega$	36 G $\Omega$
Denso 23670-0L110	0.6 $\Omega$	33.9 G $\Omega$	27.4 G $\Omega$
Delphi JBR03701D	0.3 $\Omega$	12.5 G $\Omega$	12.6 G $\Omega$
Delphi EJBR03701D	0.2 $\Omega$	12.5 G $\Omega$	12.6 G $\Omega$

*Nota:* Fuente: Autores

En la prueba de resistencia y asilamiento realiza todos los inyectores cumplieron con el parámetro de funcionamiento según la normativa IEEE 43-2000

### ***Análisis Hidráulico***

En la prueba de estanquidad y retorno se realiza con la maquina mecánica de comprobadores Diesel, se coloca el inyector en la maquina comprando de la rosca del conducto de retorno de alta presión sea la misma que el de la maquina si no se colocara un adaptador, la prueba comienza bombeando liquido al inyector hasta una presión de 5000 psi, se puede ver si el inyector tiene goteo por algún lado y también si la presión vuelve a cero con rapidez o se demora en regresar a cero este proceso se realiza para todos los tipos de inyectores.

### **Figura 18:**

*Prueba de estanquidad y retorno*



*Nota:* Fuente: Autores

### **Tabla 13:**

*Prueba de retorno y estanqueidad*

<b>Inyector tipo</b>	<b>Estanqueidad</b>	<b>Retorno</b>
Bosch CRI 1: 0445110-254	Fugas de liquido	Retorno excesivamente rápido
Bosch CRI 2: 0445110-250	Excelente estado	No presenta retorno
Bosch CRI 2.1: 0445110-293	Excelente estado	No presenta retorno
Denso 095000-6367	Excelente estado	No presenta retorno
Denso 095000-6520	Excelente estado	No presenta retorno
Denso 23670-0L110	Excelente estado	No presenta retorno
Delphi JBR03701D	Excelente estado	No presenta retorno
Delphi EJBR03701D	Excelente estado	No presenta retorno

*Nota:* Fuente: Autores

En las pruebas realizadas el único inyector que presento problemas fue el BOSCH CRI 1 el cual dio una excesiva retorno de líquido y fugas por la tobera del inyector y la entrada de combustible del inyector.

### ***Análisis Físico***

En el microscopio se revisa las partes del inyector BOSCH CRI 1 el cual presento problemas de estanquidad y retorno, con el microscopio se verifica que las piezas que están desgastadas y deben de ser remplazadas, en la figura 19 se ve cómo donde asiente la esfera y el porta esfera presenta un desgaste excesivo por lo que este daba problema de estanquidad tenía fugas de líquido por la tobera.

### **Figura 19:**

*Desgaste en la tobera del inyector*

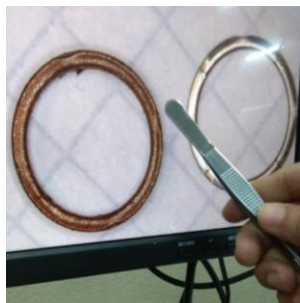


*Nota:* Fuente: Autores

En la figura 20 se ve como el anillo de teflón presenta un desgaste excesivo por qué se debe remplazar en su totalidad este anillo por el cual nos está dando un excesivo retorno de líquido del inyector.

### **Figura 20:**

*Anillo de teflón desgastado*



*Nota:* Fuente: Autores

Los demás elementos del inyector se encuentran en perfecto estado.

### ***Prueba de funcionamiento***

En la prueba de funcionamiento los inyectores Diesel de todas las marcas entraron al banco de pruebas EPS 205, que permite poner en funcionamiento los inyectores en la figura 21 de se muestra el montaje del inyector Diesel en el banco de pruebas EPS 205, aquí se verifica que los inyectores que pasaron las pruebas anteriores estén en correcto funcionamiento en las diferentes etapas de trabajo de un inyector.

**Figura 21:**

*Inyector en Banco de pruebas*



*Nota:* Fuente: Autores

Des pues con la maquina FSA 740 se lleva la toma del tipo de onda que nos genera en las diferentes etapas de trabajo del inyectore como se ve en la figura 22.

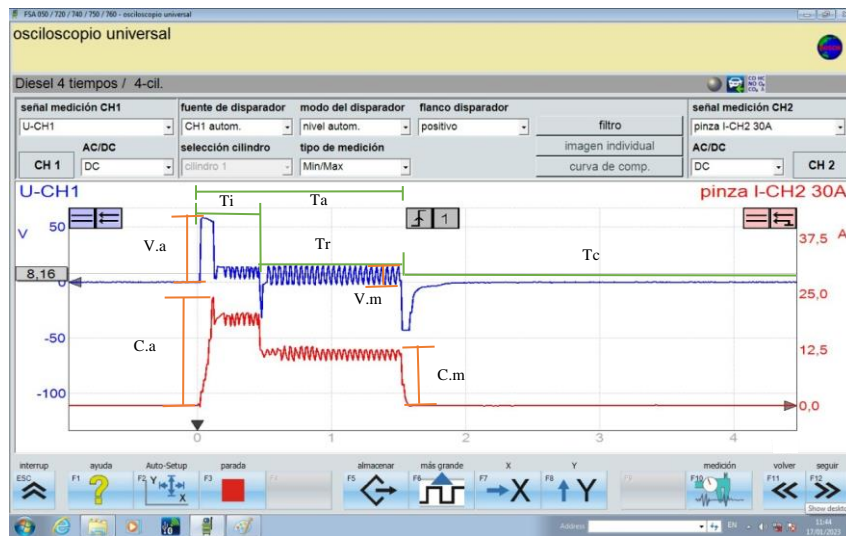
**Figura 22:**

*Inyector conectado al FSA 740*



*Nota:* Fuente: Autores

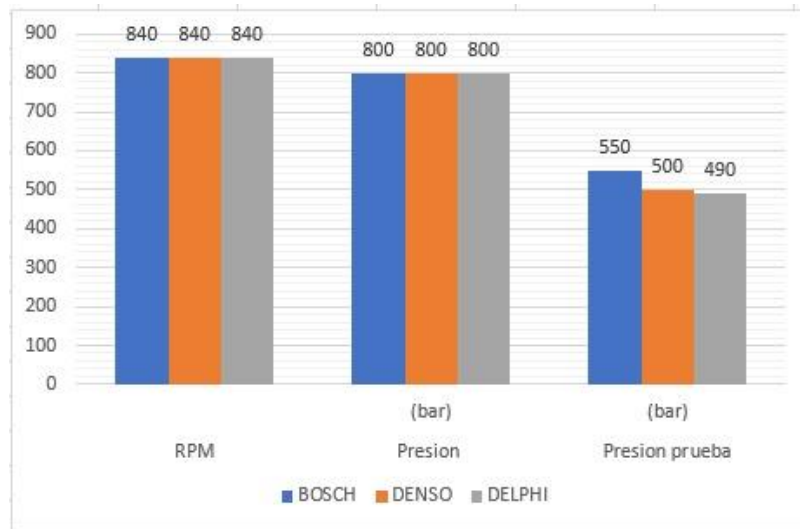
*Graficas obtenidos del osciloscopio*

**Figura 23:***Forma de onda osciloscopio***Nota:** Fuente: Autores

En la Figura 23 se ven las etapas de funcionamiento de un inyector al momento de estas trabajando, el tiempo de activación ( $T_a$ ) de 14,3ms, el cual permanece en funcionamiento, encontramos el tiempo de inyección ( $T_i$ ) de 1ms, permanece abierto el inyector, el tiempo de retención ( $T_r$ ) de 13,3ms, en el cual el combustible retorna por el circuito de baja presión hacia el depósito, el tiempo de cierre ( $T_c$ ) de 128,56ms en el cual el inyector permanece cerrado hasta que vuelva a entrar en la etapa de activación. El voltaje de activación ( $V.a$ ) para los inyectores Denso y Bosch es entre los 50 y 60 voltios con una corriente ( $C.a$ ) elevada que varía entre los 12 y 20 amperios, su voltaje de mantenimiento 8 y corriente de mantenimiento de 8, en los Delphi su voltaje de activación es de 12 voltios y una corriente de 8 amperios, su voltaje de mantenimiento 6 voltios y corriente de mantenimiento de 4 amperios.

**Figura 24:**

*Diagrama de barras de RPM y Presiones*

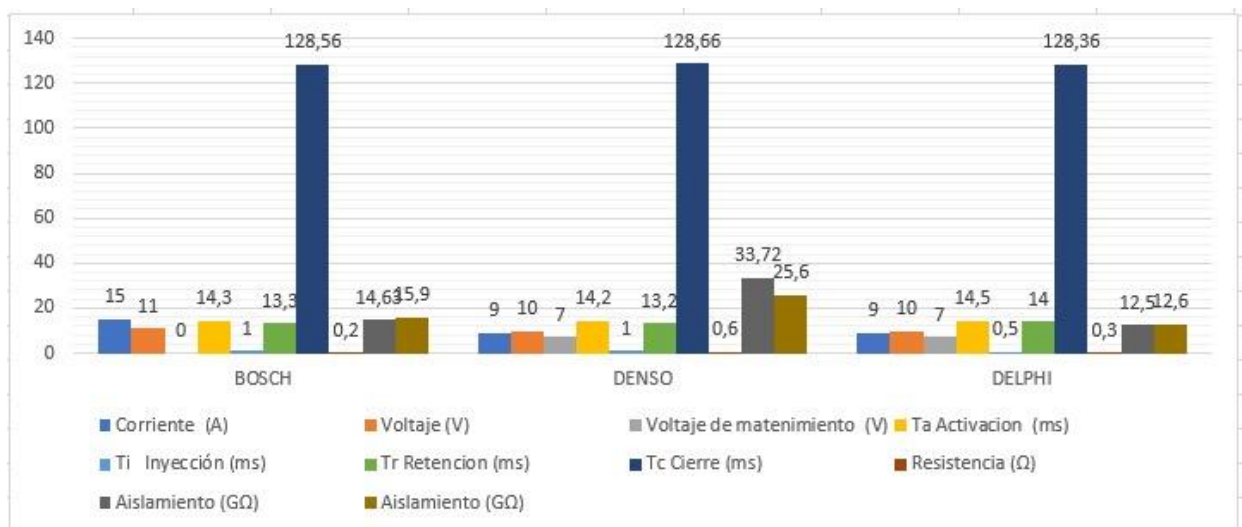


*Nota:* Fuente: Autores

Los tres tipos de inyectores Diesel (Bosch, Denso y Delphi) tienen valores similares en cuanto a RPM y presión, con 840 RPM y 800 bares, respectivamente. La principal diferencia entre ellos se encuentra en la presión de prueba, donde Bosch tiene un valor de 550, Denso 500 y Delphi 490. Estos valores pueden afectar el rendimiento y la eficiencia del inyector, por lo que es importante considerarlos a la hora de elegir una marca en particular durante el mantenimiento.

**Figura 25:**

*Grafico de barras de RPM y Presiones*



*Nota:* Fuente: Autores

En términos generales, los tres tipos de inyectores Diesel (Bosch, Denso y Delphi) presentan similitudes en cuanto a corriente, voltaje y voltaje de mantenimiento, con valores de 9 a 15 A, 10 V y 7 V, respectivamente. Sin embargo, hay diferencias significativas en cuanto a tiempos de activación, inyección, retención, cierre y resistencia. En general, cada marca tiene diferentes características y valores para los parámetros evaluados, por lo que la elección dependerá de las necesidades específicas de cada aplicación y uso.

Bosch tiene el mayor tiempo de activación (14,3 ms) y el menor tiempo de inyección (1 ms), mientras que Denso y Delphi tienen un tiempo de activación de 14,2 ms y 14,5 ms, y un tiempo de inyección de 1 ms y 0,5 ms, respectivamente. En cuanto a la resistencia, Bosch y Delphi tienen valores similares (0,2  $\Omega$  y 0,3  $\Omega$ ), mientras que Denso es significativamente mayor (0,6  $\Omega$ ). En cuanto al aislamiento, Delphi es la marca con los valores más bajos (12,5 G $\Omega$ ), seguido de Bosch (14,63 G $\Omega$ ) y Denso (33,72 G $\Omega$ ). Bosch tiene un tiempo de activación y tiempo de inyección relativamente buenos en comparación con Denso y Delphi. En cuanto a la resistencia, Bosch y Delphi tienen valores similares y Denso es significativamente mayor. En cuanto al aislamiento, Delphi es la marca con los valores más bajos, seguido de Bosch y Denso.

**Tabla 14:**

*Valores de Inyectores Diesel con marcas Bosch, Denso y Delphi*

TIPO DE INYECTOR	Presion	Presion prueba	Corriente	Voltaje	Voltaje de mantenimiento	Ta Activacion
	(bar)	(bar)	(A)	(V)	(V)	(ms)
BOSCH	800	550	15	11	7 a 3,5	14,3
DENSO	800	500	9	10	7	14,2
DELPHI	800	490	9	10	7	14,5
TIPO DE INYECTOR	Ti Inyección	Tr Retencion	Te Cierre	Resistencia	Aislamiento	
	(ms)	(ms)	(ms)	( $\Omega$ )	(G $\Omega$ )	(G $\Omega$ )
BOSCH	1	13,3	128,56	0,2	14,63	15,9
DENSO	1	13,2	128,66	0,6	33,72	25,6
DELPHI	0,5	14	128,36	0,3	12,5	12,6

**Nota:** Fuente: Autores



La tabla 14 muestra los valores y características de tres tipos diferentes de inyectores: BOSCH, DENSO y DELPHI. Todos ellos tienen una presión de funcionamiento de 800 bar, lo que significa que pueden manejar una presión muy alta en su sistema de combustión. Sin embargo, la presión de prueba varía entre 500 y 550 bar, lo que indica que la calidad y resistencia de cada inyector puede ser diferente. En cuanto a la corriente, la inyección de DENSO requiere la menor cantidad de corriente con 9 A, mientras que los inyectores BOSCH y DELPHI requieren 15 y 9 A, respectivamente. Además, los voltajes de activación y mantenimiento varían entre 7 y 11 V, lo que puede tener un impacto en la eficiencia y la precisión de la inyección de combustible. Los tiempos de activación ( $T_a$ ), inyección ( $T_i$ ) y retención ( $T_r$ ) son importantes para el correcto funcionamiento del inyector y su influencia en la combustión. Los tiempos de los inyectores BOSCH y DELPHI son similares, mientras que el inyector DENSO tiene un tiempo de activación ligeramente más corto. En cuanto a la resistencia, todos los inyectores tienen una resistencia similar, pero la resistencia aislante varía entre 12,5 y 33,72 G $\Omega$ . Esto puede afectar la capacidad del inyector para mantener una corriente constante y evitar interferencia electromagnética. Los valores y características de los inyectores BOSCH, DENSO y DELPHI varían y pueden tener un impacto en la eficiencia y precisión de la inyección de combustible. Es importante considerar estos valores al seleccionar el tipo adecuado de inyector para un sistema determinado.

### **Conclusiones**

La evaluación electrónica es esencial para identificar cualquier problema en el sistema electrónico de los inyectores CRDi. Esto incluye la revisión de las resistencias de las bobinas, las cuales no deben ser infinito y las pruebas de aislamiento no debe ser por debajo de una giga ohmio cuando se apliquen 5.000 voltios.

La evaluación hidráulica es crucial para determinar el correcto funcionamiento de los inyectores CRDi. Esto incluye la prueba de estanqueidad, sin presencia de goteos en su conjunto de tobera y conducto de baja presión en los cuales BOSCH presenta 13,3ms, DENSO presenta 13,2ms y DELPHI 14ms en la fase de retención. De igual manera en esta fase identificamos una falencia del inyector si en el tiempo de retención da como resultado un valor menor al de 10 ms. En este caso, todos se encuentran en perfecto estado.

Cuantitativamente en relación con los tres tipos de inyectores Diesel (Bosch, Denso y Delphi) incluyen que Bosch tiene el mayor tiempo de activación (14,3 ms) y el menor tiempo de inyección (1 ms). Denso y Delphi tienen un tiempo de activación de 14,2 ms y 14,5 ms, y un tiempo de inyección de 1 ms y 0,5 ms, respectivamente. Bosch y Delphi tienen valores similares de resistencia (0,2  $\Omega$  y 0,3  $\Omega$ ), mientras que Denso es significativamente mayor (0,6  $\Omega$ ). Delphi es la marca con los valores más bajos de aislamiento (12,5 G $\Omega$ ), seguido de Bosch (14,63 G $\Omega$ ) y Denso (33,72 G $\Omega$ ). Todo esto se debe al diseño del sistema de combustible del fabricante en la búsqueda de mayor vida útil del inyector o mayor rendimiento en tiempos de activación para una mejor pulverización el combustible.

### Bibliografía

- IEEE Transactions on Industrial Electronics. (2020). Control of Common Rail Diesel Engine Using Fuzzy Logic. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 977-985.
- Arnoux, C. (2019). Qué se entiende como prueba de resistencia. *AEMC INSTRUMENTS*, 6.
- Calderón Orellana, M. F. (Julio de 2022). *Repositorio Institucional de la Universidad Politécnica Salesiana*. Obtenido de Repositorio Institucional de la Universidad Politécnica Salesiana: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/23661>
- International Journal of Automotive Technology. (2019). Study of the Common Rail Diesel Injection System. *International Journal of Automotive Technology*, 301-308.
- ISO . (s.f.). *International Organization for Standardization*. Obtenido de <https://www.iso.org/home.html>
- Lara Sánchez, C. J., & Monteros Montenegro, L. G. (09 de Diciembre de 2016). *Repositorio Institucional de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE*. Obtenido de Repositorio Institucional de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE: <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/11844>
- Leguisamo Milla, J. C. (agosto de 2018). *Repositorio de la Universidad Internacional SEK Ecuador*. Obtenido de Repositorio de la Universidad Internacional SEK Ecuador: <https://repositorio.uisek.edu.ec/handle/123456789/3120>
- MYG Inc Motores Eléctricos. (s.f.). *MYG Inc Motores Eléctricos*. Obtenido de MYG Inc Motores Eléctricos: <https://motoresygeneradores.com/ieee-43-2000-megger/>

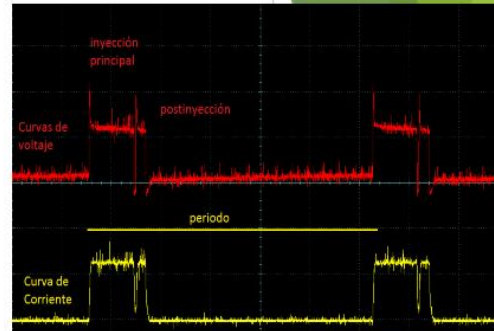
- Navarrete, L. M., Román, M., Cedeño, E. A., Barreno, N., Palacio, S. M., & Rocha-Hoyos, J. C. (2018). Estudio de rugosidad por análisis de Fourier de las toberas de inyectores en sistemas riel común (CRDI). *SciELO*.
- Rodrigo, P. G., M, C. U., T, C. T., & V, L. L. (2019). ACTIVATION AND CONTROL OF DIESEL INJECTORS CRDI OF TRADEMARKS DENSO AND DELPHI. *Universidad, Ciencia y Tecnología Revista Multidisciplinaria*, 10.
- Rojas, C., & Quinteros, S. (2021). Diagnóstico de los componentes del sistema Common Rail Denso implementados en vehículos Isuzu e Hino. *incetec*.
- SAE Internacional. (2019). common rail diesel injection system. *SAE Internacional*.
- Bosch Robert (2002), *Sistemas de Inyección de gasolina*, Barcelona España, Grupo Editorial CEAC.
- Martínez Gil (2000), *Manual del Automóvil*, Madrid España, Cultural S.A
- Sistema de inyección Diesel por acumulador Common Rail. (s. f.)*
- Kates, E. J., Luck, W. E. & Coma, V. J. (2021). *Motores diésel y de gas de alta compresión (1.a ed.)*. Reverte.
- Jaime, G. (2009). *Estudio De La Inyección Diesel Mediante La Medida Del Flujo De Cantidad De Movimiento Del Chorro (Temas Avanzados en Motores de Combustión Interna): 14 (1.)*. Editorial Reverté.
- MARTÍ, A. P. (1996). *Inyección Electrónica en Motores Diesel*. MARCOMBO S.A.
- Guerrero, A. C. (2000). *Mecánica Diesel*. Buga: Educar Editores S.A
- GmbH, R. B. (1999). *Bombas Rotativas de Inyección de émbolos radiales para motores Diesel*. Alemania: Reuter, D.I.
- Buitrago, A. (2008). *Bombas de combustible Diesel*.
- Bosch. (2000-2001). *Línea Diesel*. Colombia.
- Herrero, A. d. (2012). *En el interior de un motor Diesel*

## Anexos

### Anexo 1: Diseño y Construcción del Sistema de Activación y Control De Inyector Diesel Riel Común CRDI

#### Inyección posterior

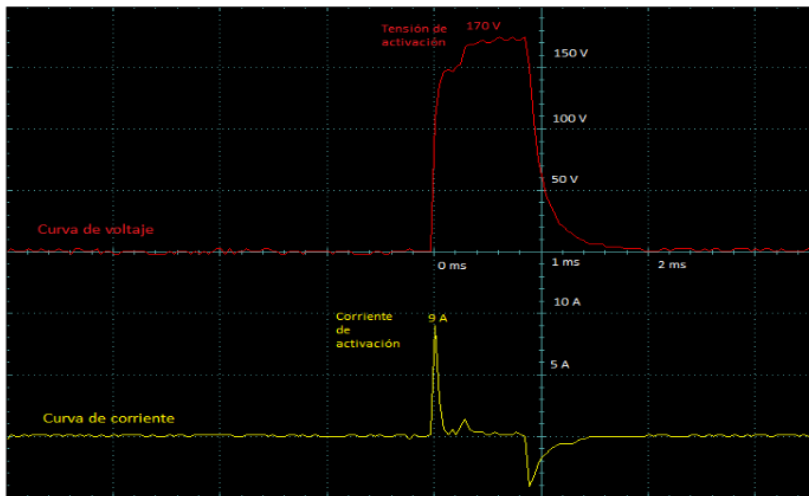
- ▶ Se pueden utilizar las pos inyecciones para cebar más rápidamente el catalizador.
- ▶ En los vehículos equipados con un filtro de partículas, se utilizan las pos inyecciones para aumentar y estabilizar el filtro a su temperatura de regeneración. (>650° C).”
- ▶ Estas inyecciones tienen también correcciones, pero en este ejemplo los factores correctivos más importantes son:
  - ▶ • La temperatura antes turbo.
  - ▶ • La temperatura del catalizador.
  - ▶ • La temperatura del filtro de partículas.



#### INYECCIÓN PRINCIPAL



## Activación de piezoeléctrico

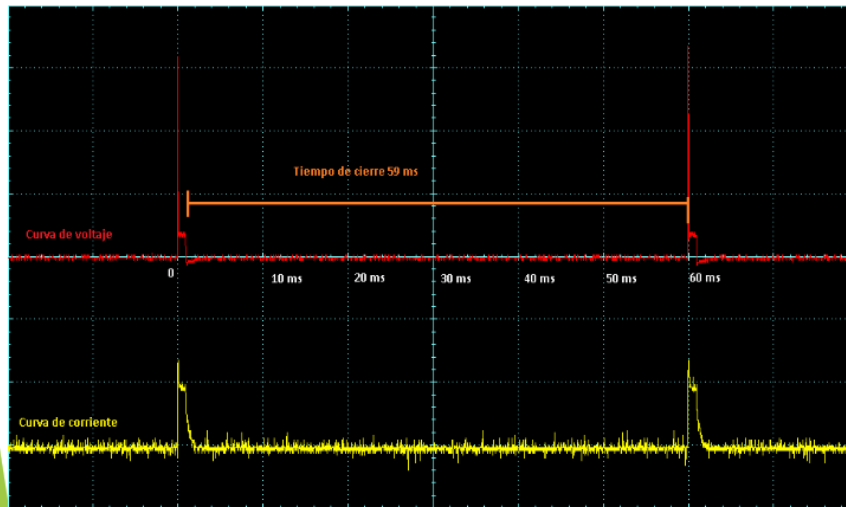


## Inyector piezoeléctrico

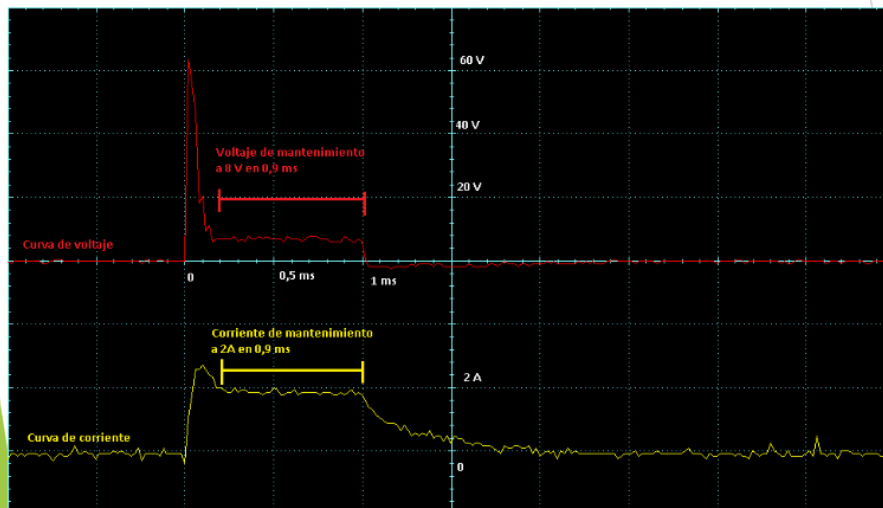
- ▶ Se somete a un impulso eléctrico. Inversamente es capaz de generar un impulso eléctrico si se fuerza a cambiar deformándolo
- ▶ La PCM envía una tensión inicial de unos 70 V por un tiempo de 0,2mseg, en el interior, se eleva este voltaje a unos 140 V, esto toma otros 0,2 ms y se logra con una corriente de aproximadamente 7 Amperios.
- ▶ Para terminar el proceso de inyección se coloca otro impulso de tensión final llamado tiempo de descarga esto toma alrededor de otros 0,2 ms.”



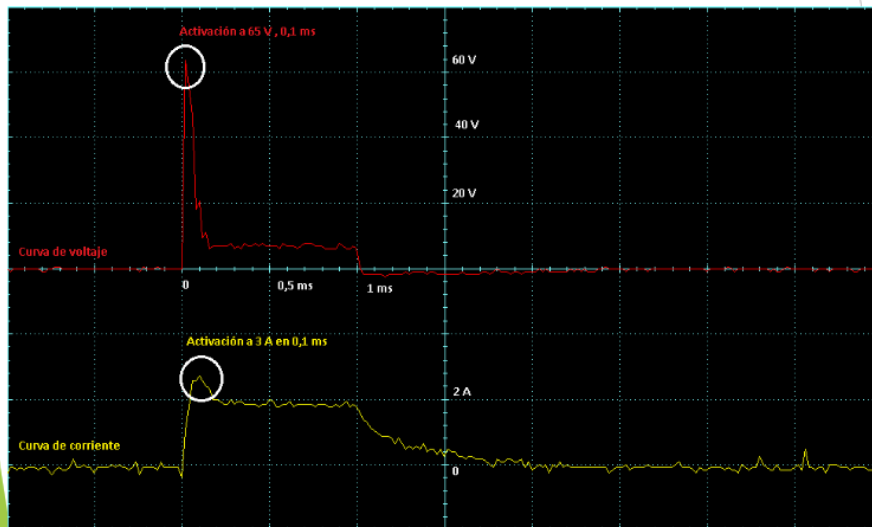
## FASE DE CIERRE



## FASE DE MANTENIMIENTO



## INICIO DE ACTIVACIÓN

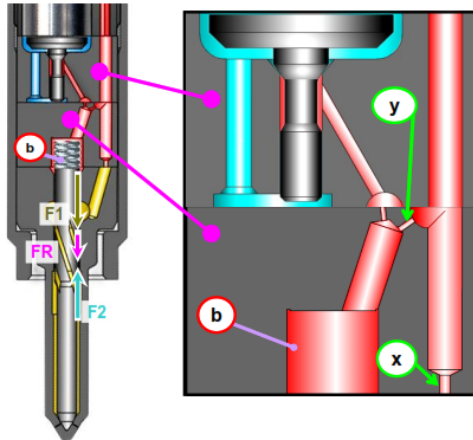


## Etapa de activación del inyector

- ▶ Para la activación del inyector se divide en cinco fases, la cual se controla a través del módulo de control electrónico:
  - Fase de apertura
  - Fase de corriente inicial de arranque
  - Fase de corriente de mantenimiento
  - Desconexión
  - Recarga mediante convertidor de refuerzo

**Motor en funcionamiento / el inyector no comandado se cierra**

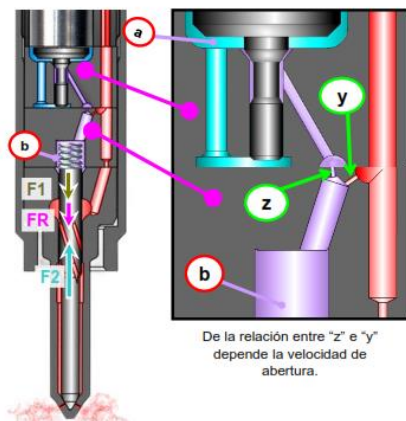
El ECM corta la alimentación de la electroválvula.



$F2 < F1 + FR$   
entonces  
***inyector cerrado***

**Motor en funcionamiento / inyector comandado**

En el momento oportuno, el calculador alimenta la electroválvula que, ayudada hidráulicamente, levanta la válvula.

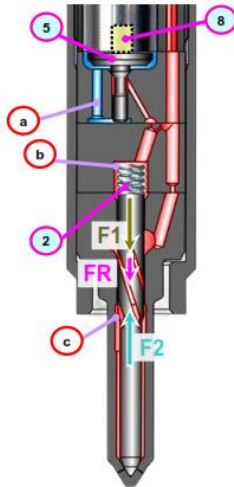


$F2 > F1 + FR$   
entonces  
***inyector abierto***



### Motor en funcionamiento / inyector no comandado

#### Funcionamiento



*La aguja de inyector está sometida a tres esfuerzos:*

**F1** = Esfuerzo ejercido por la presión que reina en el volumen de mando.

**F2** = Esfuerzo ejercido sobre la sección del aguja de inyector.

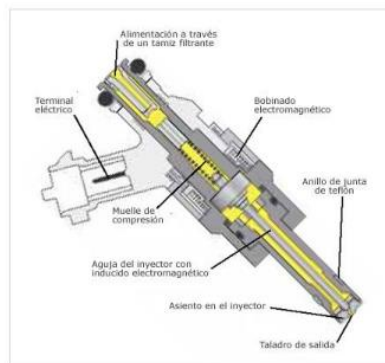
**FR** = Calibrado del resorte de retorno de la aguja de inyector.

**$F2 < F1 + FR$  entonces *inyector cerrado***

## Etapa de control de alta presión

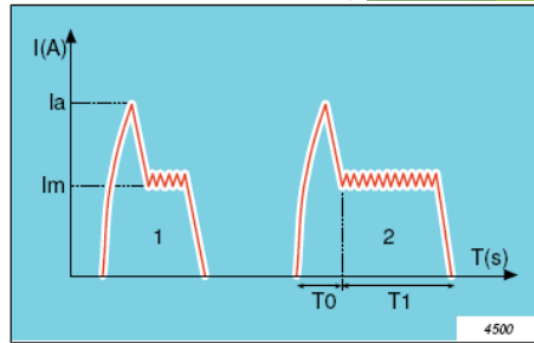
- Se divide en cuatro estados de servicio las cual el combustible es conducido desde la bomba de alta presión a través de un conducto de alimentación hacia el inyector estas cuatro etapas son:

- Inyector cerrado
- Apertura del inyector
- Inyector totalmente abierto
- Cierre del inyector



## Control de los inyectores

1	Inyección piloto	$I_m$	Corriente de mantenimiento
2	Inyección principal	$T_0$	Duración de la corriente de activación
$I_a$	Corriente de activación	$T_1$	Duración de la corriente de mantenimiento



## Anexo 2: Bosch

3. Pruebas eléctricas de los inyectores piezoeléctricos common rail de Bosch

3. Comprobación de daños en el módulo del actuador

**!** Preste atención a la información de configuración y conexión para pruebas de aislamiento y alto voltaje en las instrucciones de funcionamiento del probador.

1. Utilice el cable adaptador adecuado (K o AK) para conectar el inyector al probador (Fig. 1, Pos. 1 y 2).

**!** Preste atención a la polaridad correcta (Fig. 1, Pos. 1). La polaridad incorrecta puede dañar el módulo del actuador. Consulte las notas en la página 2. Preste atención a la posición de enclavamiento del conector K (Fig. 2, Pos. 1).

2. Encienda el probador, configure un voltaje de prueba de 100 V y presione el botón de inicio para la prueba.

Valor límite: 170 k $\Omega$


Sustituir el inyector si no se alcanza el valor límite.

Figura 1

Figura 2

Mercado de accesorios automotrices

14 AA-AS/TS551-EU; Lr | 25.02.2014 | © Robert Bosch GmbH 2014. Alle Rechte vorbehalten, auch bzgl. jeder Verfügung, Verwertung, Reproduktion, Bearbeitung, Weitergabe sowie für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen.

 **BOSCH**

### 3. Pruebas eléctricas de los inyectores piezoeléctricos common rail de Bosch

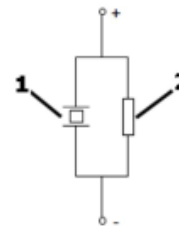
Prueba de resistencia eléctrica de los cables (Fig. 1 (Fig. 2) de los inyectores (Fig. 1 Pos. 1) . 1, Pos. 1)

**!** Preste atención a la información de configuración y conexión para la prueba de resistencia en las instrucciones de funcionamiento del probador.

1. Conecte el cable adaptador correspondiente (K o AK) al conexión eléctrica del inyector (Fig. 2, Pos. 2) y al probador (Fig. 2, Pos. 1). (Activar la medición de resistencia en el tester **Antes de realizar pruebas.** t el tt (rango k $\Omega$  )

Valor ajustado: 150 k $\Omega$  – 210 k $\Omega$

Sustituir el inyector si no se alcanza el valor ajustado.



### 3. Pruebas eléctricas de los inyectores piezoeléctricos common rail de Bosch

1 Prueba de aislamiento 1 Prueba de aislamiento

**!** Desactive el modo de prueba antes de cambiar los contactos del enchufe.

1. Conecte el cable de prueba negro del probador al terminal negativo del inyector (Fig. 1, Pos. 1). conexión eléctrica) y a la parte metálica
2. Conectar el cable adaptador correspondiente (K o AK) a la conexión eléctrica del inyector (Fig. 1, Pos. 2).
3. Inserte un contacto de enchufe del cable adaptador (Fig. 1, Pos. 3) en la conexión positiva del probador.
4. Encienda el probador, configure un voltaje de prueba de 100 V y presione el botón de inicio para la prueba.
5. Luego inserte el segundo contacto de enchufe del cable adaptador (Fig. 1, P 4) i t h t i f t t Pos. 4) en la conexión positiva del probador y repita la prueba t.

Establecer valor en cada caso: => 10 M $\Omega$

Sustituir el inyector si no se alcanzan los valores establecidos.



3. Pruebas eléctricas de los inyectores piezoeléctricos common rail de Bosch

1 Prueba de aislamiento 1. Prueba de aislamiento

**!** Preste atención a la información de configuración y conexión para las pruebas de aislamiento y alto voltaje en las funciones de operación del probador. t

**i** Para permitir la localización de la corriente de fuga, no limpie el inyector antes de realizar la prueba de aislamiento.



Mercado de accesorios automotrices

11 AA-AS/TSS51-EU- Le | 20.02.2014 | © Robert Bosch GmbH 2014. Alle Rechte vorbehalten, auch bzgl. jeder Vervielfältigung, Verwertung, Reproduktion, Bearbeitung, Weitergabe sowie für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen.

 **BOSCH**

3. Pruebas eléctricas de los inyectores piezoeléctricos common rail de Bosch

**i** uso de probadores

Al utilizar probadores, es esencial prestar atención a la documentación técnica del fabricante y, en particular, las instrucciones de seguridad.

Todos los probadores utilizados deben ser apropiados y aprobados para la aplicación prevista.

Los probadores y los dispositivos de seguridad asociados deben estar en una condición segura confiable.

El equipo debe exhibir las marcas de seguridad y aprobación correspondientes.


El trabajo con probadores y en particular con probadores de aislamiento debe ser realizado únicamente por personal.

Tenga cuidado al utilizar comprobadores de aislamiento, ya que pueden producirse tensiones peligrosas en el salidas de medición del probador, en el espécimen de prueba y en el área circundante.

Se deben tomar medidas de seguridad especiales antes de comenzar a trabajar cuando se usa aislamiento probadores

Mercado de accesorios automotrices

10 AA-AS/TSS51-EU- Le | 20.02.2014 | © Robert Bosch GmbH 2014. Alle Rechte vorbehalten, auch bzgl. jeder Vervielfältigung, Verwertung, Reproduktion, Bearbeitung, Weitergabe sowie für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen.

 **BOSCH**

Machine Translated by Google

### 3. Pruebas eléctricas de los inyectores

piezoeléctricos common rail de Bosch.

Importante:

Las pruebas se describen junto con Bosch FSA 050 y los cables de prueba correspondientes.

Garantice un contacto seguro si se utilizan probadores de aislamiento universales y cables de prueba.

Siempre preste atención a lo siguiente con respecto a la prueba del módulo del actuador:

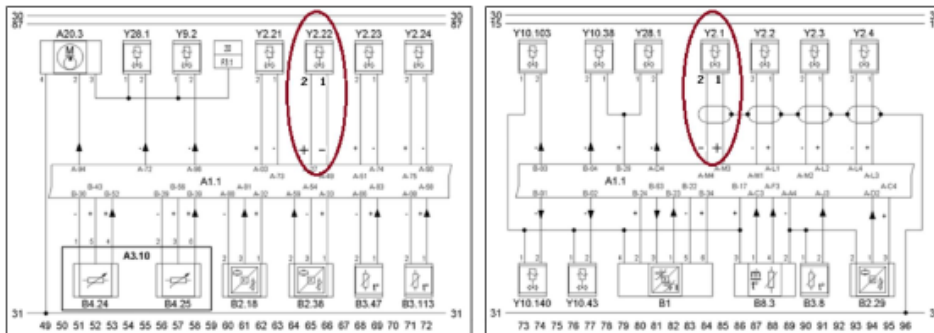


Preste atención a la polaridad correcta en la conexión de enchufe del inyector y el probador.  
La polaridad incorrecta puede dañar el módulo del actuador.

Consulte la documentación de servicio del fabricante del vehículo o la sección "Diagrama de

terminales eléctricos" de las instrucciones del vehículo Bosch ES[tronic] para obtener más información.

Consulte los ejemplos (Y2.xx = inyector) Consulte los ejemplos (Y2.xx = inyector)



Mercado de accesorios automotrices

9

AA-AS/TS551-EU- Le | 25.02.2014 | © Robert Bosch GmbH 2014. Alle Rechte vorbehalten, auch bzgl. jeder Verfügung, Verwertung, Reproduktion, Bearbeitung, Weitergabe sowie für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen.



**BOSCH**

### 2. Pruebas eléctricas de los inyectores

de válvula solenoide (MV) common rail de Bosch

#### 3. Comprobación de la resistencia del conjunto del imán



Preste atención a la información de configuración y conexión para la prueba de resistencia en las instrucciones de funcionamiento del probador.



Debe hacerse uso de un puente de medición de resistencia adecuado debido a la baja resistencia y la precisión de medición requerida.

Se debe tener en cuenta la resistencia de contacto y la resistencia en los cables de prueba al determinar el valor de prueba.

Active la medición de resistencia en el probador y realice la prueba.

Valor ajustado:

IRC 1 = 0,310 – 0,420 Ω

IRC 2.0, 2.1, 2.2 = 0,215 – 0,295 Ω

CRI 1 = 0,310 – 0,420 Ω

CRI 2, 3 = 0,215 – 0,295 Ω

Sustituir el inyector si no se alcanza el valor ajustado.

Mercado de accesorios automotrices

8

AA-AS/TS551-EU- Le | 25.02.2014 | © Robert Bosch GmbH 2014. Alle Rechte vorbehalten, auch bzgl. jeder Verfügung, Verwertung, Reproduktion, Bearbeitung, Weitergabe sowie für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen.



**BOSCH**

Machine Translated by Google

## 2. Pruebas eléctricas de los inyectores de válvula solenoide (MV) common rail de Bosch

### 2 Comprobación 2. Comprobación de continuidad/bloqueo del conjunto del imán

**!** Preste atención a la información de configuración y conexión para la prueba de resistencia en las instrucciones de funcionamiento del probador.

1. Conecte el cable adaptador correspondiente (K o AK) al conexión eléctrica del inyector (Fig. 1, Pos. 2) y al probador (Fig. 1, Pos. 1). ( Activar la medida de resistencia en el tester  $\Omega$  y realizar pruebas. t el tt (k $\Omega$  / rango)

Valor ajustado:  $\Rightarrow 0,0 \Omega$

Sustituir el inyector si no se alcanza el valor ajustado.

\* Figura ejemplar



Figura 1\*

Mercado de accesorios automotrices

7

AA-AS/TSS51-EU- Le | 20.02.2014 | © Robert Bosch GmbH 2014. Alle Rechte vorbehalten, auch bzgl. Jeder Vervielfältigung, Verwertung, Reproduktion, Bearbeitung, Weitergabe sowie für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen.



**BOSCH**

Machine Translated by Google

## 2. Pruebas eléctricas de los inyectores de válvula solenoide (MV) common rail de Bosch

1 Prueba de aislamiento 1. Prueba de aislamiento

**!** Desactive el modo de prueba antes de cambiar los contactos del enchufe.

1. Conecte el cable de prueba negro del probador al terminal negativo del inyector (Fig. 1, Pos. 1). ~~conexión~~ conexión y a la parte metálica
2. Conectar el cable adaptador correspondiente (K o AK) a la conexión eléctrica del inyector (Fig. 1, Pos. 2).
3. Inserte un contacto de enchufe del cable adaptador (Fig. 1, Pos. 3) en la conexión positiva del probador.
4. Encienda el probador, configure un voltaje de prueba de 100 V y presione el botón de inicio para la prueba.
5. Luego inserte el segundo contacto de enchufe del cable adaptador (Fig. 1, P 4) en la conexión positiva del probador y repita la prueba t.

Establecer valor en cada caso:  $\Rightarrow 1 \text{ k}\Omega$

Sustituir el inyector si no se alcanzan los valores establecidos.

\* Figura ejemplar



Figura 1\*

Mercado de accesorios automotrices

6

AA-AS/TSS51-EU- Le | 20.02.2014 | © Robert Bosch GmbH 2014. Alle Rechte vorbehalten, auch bzgl. Jeder Vervielfältigung, Verwertung, Reproduktion, Bearbeitung, Weitergabe sowie für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen.



**BOSCH**

Manual de instrucciones

## 2. Pruebas eléctricas de los inyectores de válvula solenoide (MV) common rail de Bosch

1 Prueba de aislamiento 1. Prueba de aislamiento

**!** Preste atención a la información de configuración y conexión para pruebas de aislamiento y alto voltaje en las instrucciones de funcionamiento del probador.

Para permitir la localización de la corriente de fuga, no limpie el **II** inyector antes de realizar la prueba de aislamiento.





Figura ejemplar

Mercado de accesorios automotrices

5 AA-AS/TSS51-EU- Le | 20.02.2014 | © Robert Bosch GmbH 2014. Alle Rechte vorbehalten, auch bzgl. jeder Vervielfältigung, Verwertung, Reproduktion, Bearbeitung, Weitergabe sowie für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen.



**BOSCH**

Manual de instrucciones

## 2. Pruebas eléctricas de los inyectores de válvula solenoide (MV) common rail de Bosch

**II** uso de probadores

Al utilizar probadores, es esencial prestar atención a la documentación técnica del fabricante y, en particular, las instrucciones de seguridad.

Todos los probadores utilizados deben ser apropiados y aprobados para la aplicación prevista.

Los probadores y los dispositivos de seguridad asociados deben estar en una condición segura confiable.

El equipo debe exhibir las marcas de seguridad y aprobación correspondientes.


El trabajo con probadores y en particular con probadores de aislamiento debe ser realizado únicamente por personal.

Tenga cuidado al utilizar comprobadores de aislamiento, ya que pueden producirse tensiones peligrosas en el salidas de medición del probador, en el espécimen de prueba y en el área circundante.

Se deben tomar medidas de seguridad especiales antes de comenzar a trabajar cuando se usa aislamiento probadores

Mercado de accesorios automotrices

4 AA-AS/TSS51-EU- Le | 20.02.2014 | © Robert Bosch GmbH 2014. Alle Rechte vorbehalten, auch bzgl. jeder Vervielfältigung, Verwertung, Reproduktion, Bearbeitung, Weitergabe sowie für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen.



**BOSCH**

Machine Translated by Google

## 2. Pruebas eléctricas de los inyectores de válvula solenoide (MV) common rail de Bosch

### Importante:

Las pruebas (aislamiento, continuidad/bloqueo) se describen junto con el Bosch FSA 050 y los cables de prueba correspondientes.

Garantice un contacto seguro si se utilizan probadores de aislamiento universales y cables de prueba.

3

Mercado de accesorios automotrices

AA-AS/TSS51-EU- Le | 20.02.2014 | © Robert Bosch GmbH 2014. Alle Rechte vorbehalten, auch bzgl. Jeder Verfügung, Verwertung, Reproduktion, Bearbeitung, Weitergabe sowie für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen.


**BOSCH**

Machine Translated by Google

## 1. Cable adaptador para FSA 050

Cable adaptador "K", número de artículo 1 684 463 849



Cable adaptador "AK", número de artículo 1 684 463 850



Se aplica a:

Inyector de electroválvula Bosch, generación: CRI 1.0 / 2.0 / 2.1 / 2.2

Número de pedido de Bosch CRI:

CRIN 1 / 2 / 3, con 'K' o 'AK' – enchufe 0 445 110 xxx  
0 445 120 xxx

Número de pedido de Bosch CRIN:

Pruebas eléctricas de:

- Resistencia de aislamiento -  
continuidad / bloqueo del conjunto de imanes



• Bosch Piezo-Inyector, generación:

IRC 3

Número de pedido de Bosch:

0 445 115 xxx / 0 445 116 xxx / 0 445 117 xxx

Pruebas eléctricas de:

- Resistencia de aislamiento  
- Comprobación de la resistencia de descarga del módulo actuador  
- Comprobación del módulo del actuador en busca de daños.



2

Mercado de accesorios automotrices

AA-AS/TSS51-EU- Le | 20.02.2014 | © Robert Bosch GmbH 2014. Alle Rechte vorbehalten, auch bzgl. Jeder Verfügung, Verwertung, Reproduktion, Bearbeitung, Weitergabe sowie für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen.


**BOSCH**



Pruebas eléctricas de  
Inyectores common rail bosch

Contenido:

1. Cable adaptador para Hybridtester FSA 050 (número de artículo 0 684 010 050 / 1 687 023 571)
2. Pruebas eléctricas de inyectores de electroválvula (MV) common rail de Bosch
3. Pruebas eléctricas de inyectores piezoeléctricos common rail de Bosch

Mercado de accesorios automotrices

1 AA-AS/TSS01-EU- Le | 20.02.2014 | © Robert Bosch GmbH 2014. Alle Rechte vorbehalten, auch bzgl. jeder Verfügung, Verwertung, Reproduktion, Bearbeitung, Weitergabe sowie für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen.



### Anexo 3: Análisis de Desgaste de las toberas de los inyectores de Sistemas CRDI a Través el uso del rugosímetro.

#### 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.



### 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.



### 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.



## Anexo 3: Diseño y Mantenimiento de Inyección Electrónica Diesel Common Rail

### Capítulo I

#### Sistema de Inyección electrónica en motores diésel

##### 1.1 Reseña histórica

El primer vehículo con sistema de inyección, fue patentado por el ingeniero Rudolph Diesel el 28 de febrero 1892, se fue haciendo reconocida por la fuerza ejercida.

Rudolph, en búsqueda de un motor de alta utilidad, tuvo en consideración los principios termodinámicos del físico francés Nicolás Leonard Sadi Carnot, considerado uno de los padres de la termodinámica, coexistía la posibilidad de que una mezcla combustible-aire pudiera combustionar solo por un medio de compresión lo suficiente para generar la combustión (Braun, 2012, p.8).



Figura 1. Historia del motor diésel. Fuente: Recuperado de <https://www.roshfrans.com/blog/Motordieseldelpasadoalpresente>.

## 1.2 Sistema de inyección diésel

El vehículo diésel cuenta con un motor de autoencendido, por ello el rendimiento íntegro del motor es gracias a la inyección quien es el responsable de provisionar combustible en el preciso momento para el correcto funcionamiento (Carrión, 2012).

Para efectuar una buena combustión en el motor diésel, el carburante es inyectado de manera proporcional con el aire. Si no se cumple con la premisa anterior se producirá una mala combustión produciendo fallas en el sistema y un funcionamiento defectuoso. El mecanismo encargado de elevar la presión, caudal proporcional que necesita el sistema es una bomba en un momento preciso y con la adecuada presión, a cada uno de los inyectores. Por ello la presión y la correcta proporción de combustible genera una buena combustión de manera efectiva y eficaz.

Según el manual Bosch nos afirma que las inyecciones en los motores a diésel ofrecen todos los beneficios y ventajas, precisa que se origina mediante un proceso que inicia desde el tanque de combustible y acaba en mismo lugar mencionado anteriormente.

1. Donde el diésel sale succionado por la bomba de alimentación.
2. Circula a través del filtro.
3. Ingresa a la bomba de inyección.
4. Mediante el elemento se bombea a una elevada presión.
5. Los inyectores pulverizan el combustible a cada cilindro del motor.

Se puede observar la ubicación de todos los componentes mencionados anteriormente, los mismos intervienen en la circulación del combustible diésel hasta ser inyectado en cada uno de los cilindros del motor, en la regulación el caudal es efectivo y dosificado por el sistema ajustado al ingreso de la inyección por la ECU.

El sistema cuenta con muchas medidas de seguridad para la protección, cuidado y seguridad del motor los cuales son los filtros ubicados estratégicamente en la salida del

tanque, línea de presión baja e ingreso en la bomba de presión alta. Estos filtros nos ayudaran a que no se generen estancamiento en el sistema, el cual provocaria fallas en el sistema y por ende reducir la vida útil del motor.

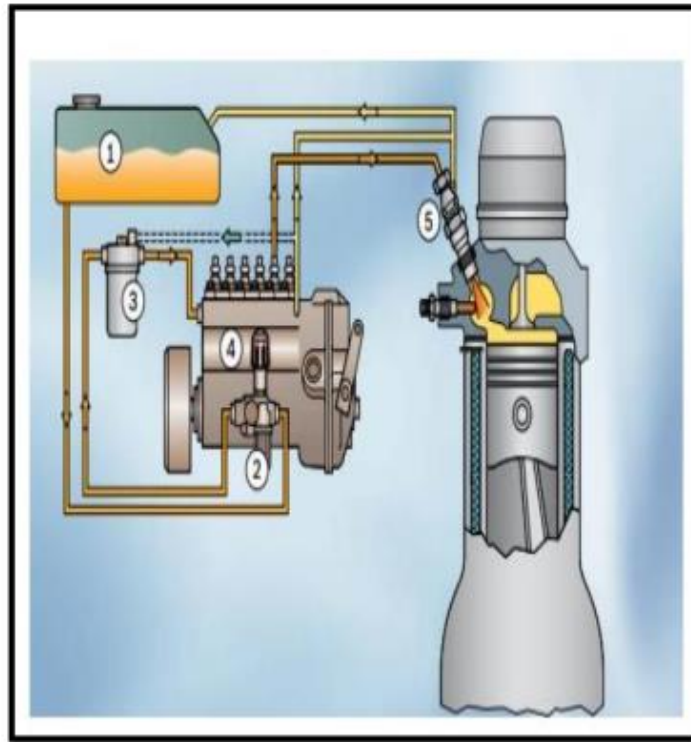


Figura 2. Sistema de alimentación del motor diésel. Fuente: Manual Bosch, 2015.

Tabla 1  
Sistemas de inyección mecánicos o electrónicos

SISTEMA DE INYECCIÓN DIÉSEL MECÁNICO	Bomba rotativa Bomba lineal
SISTEMA DE INYECCIÓN DIÉSEL ELECTRÓNICO	Sistema de Common Rail (CRDI) Sistema de bomba unitario (UPC) Sistema de unidad inyectora (UIS)

Nota: Se visualiza los sistemas de inyección según el tipo de bomba o sistema de inyección. Fuente: Manual Bosch 2015.

Tabla 3  
Presión máxima de las bombas de inyección

Tipos de bomba de inyección	Inyección presión máxima (bar)
M	550
A	750
MW	1100
P 3000	950
P 7100	1200
P 8000	1300
P 8500	1300
H 1	1300
H 1000	1350

Nota: Muestra presiones de inyección en las bombas de inyección lineales en bar. Fuente: Armas y Vaca, 2013.

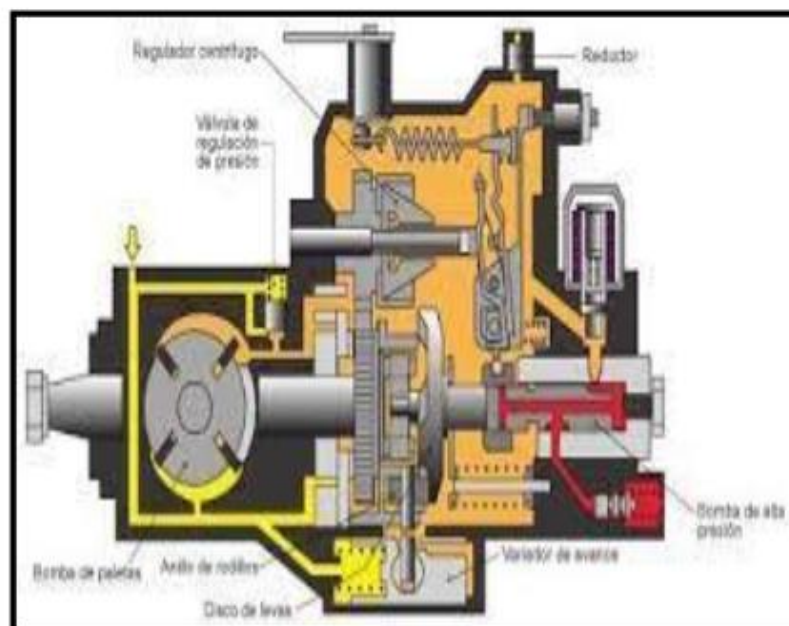


Figura 4. Partes de la inyección rotativas de un inyector. Fuente: Recuperado de <https://es.slideshare.net/qsadbv-Chfkjhm/curso-automotriz-ii/>

Tabla 2  
Diferencia del sistema mecánico de inyección diésel

BOMBA LINEAL	BOMBA ROTATIVA
<p>Según Bosch (2015) afirma. Que el sistema de inyección de bomba en línea, produce presiones de inyección de combustible diésel que varían de acuerdo al vehículo, es así que para vehículos diésel livianos como sedan o pick-up, tiene una presión es de 550 bar, en vehículos medianos o mini tractores, por ejemplo, la presión se encuentra entre un rango de 750 a 950 bar, mientras que, en vehículos pesados con sistema de tracción de 3 ejes, la presión es de 1200 a 1300 bar. Las presiones de inyección de la bomba lineal en diferentes tamaños de vehículos se observan en la figura 3</p>	<p>Según Bosch (2015) afirma. Las bombas de inyección rotativa, llamadas también como distribuidoras, poseen la particularidad de ser más compactas en relación con las lineales, más livianas, ejercen altas revoluciones y funcionan en cualquier posición. Es así que, son más apropiadas a los automóviles livianos.</p>

Nota: Muestra los diferentes tipos de bombas en un sistema de inyección. Fuente: Manual Bosch, 2015.

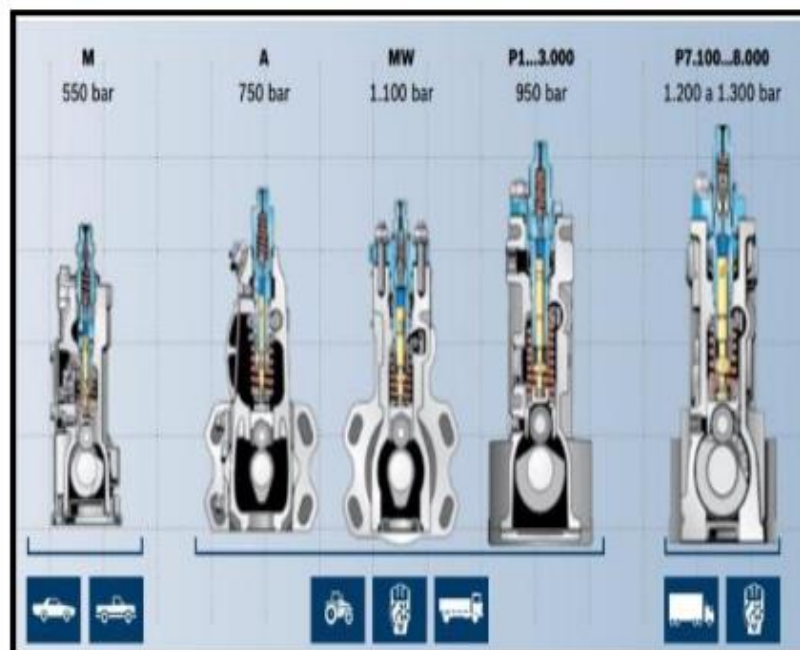


Figura 3. Presión en bomba de inyección. Fuente: Manual Bosch, 2015.

Tabla 4  
Presión máxima de inyección en bombas rotativas

Tipo de bomba rotativa	Inyección presión máxima (bar)
VE	1200
VE EDC	1200
VE MV	1400
VR MV	1700

*Nota:* Muestra cuadro de presiones máximas en bar de los diferentes tipos de bombas rotativas. Fuente: Armas y Vaca, 2013.

Tabla 5  
Sistemas de inyección diésel

Sistema de bomba unitaria (UPS)	Según el manual Bosch nos dice, Una bomba de alta presión que se encuentra conectada directamente a cada uno los porta inyectores es accionada mediante la distribución, comprimiendo el combustible diésel. La unidad de control de inyección activa la válvula electromagnética, que permite el flujo de combustible a presión alta hacia el pico inyector” (2016).
Sistema de unidad inyectora (UIS)	Según el manual Bosch, (2016) nos dice, que un sistema que cuenta con una bomba de alta presión y un mismo inyector de forma compacta en cada cilindro. Además, reemplaza el conjunto porta inyector que existe en sistemas convencionales, exceptuando el empleo de las tuberías de alta presión, lo que permite alcanzar elevados valores de presión. Las unidades inyectoras instaladas en la cabeza del motor, inyectan el combustible de manera directa en cada cilindro.
Sistema de inyección Common Rail	Según el manual Bosch, (2016) nos dice, que es la encargada de producir presión alta mediante una bomba comprimiendo el combustible y enviándolo hacia el orificio del rail a través de un conducto, que trabaja como acumulador de alta presión común para el conjunto de inyectores. El combustible es distribuido a cada inyector al mismo tiempo, los cuales son los encargados de suministrarlo en la cámara de combustión de cada cilindro”.

*Nota:* Muestra los diferentes sistemas electronicos de inyeccion diésel. Fuente: Manual Bocsh, 2015.



contaminación es originada por vehículos mediante la emisión de gases nocivos del campo automotrices (OMS, 1995).

Por ello Europa toma medidas contra dicho problema, generando regulaciones automotrices para reducir emisiones de gases nocivos para el medio ambiente como el monóxido de carbono, dióxido de carbono, anhídrido carbónico, etc.

### 1.5 Regulación de las emisiones

Conscientes de las graves consecuencias de los cambios de temperatura y daños a la capa de ozono las organizaciones toman en cuenta la gran contaminación generada por los vehículos mediante los gases de escape, la Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa norma el 15 de abril de 1982 la regulación universal R49 para todos los vehículos de procedencia europea para los motores Diesel. Fue el inicio de la regulación que estableció límites automotrices en la emisión producida por los motores diésel. Luego al pasar los años se emitirían normas más severas en la siguiente tabla podemos visualizar las normas (Yerera, 2014, p.12).

Tabla 6  
Normas euro de contaminación ambiental

Gases	Euro2	Scania
CO (monóxido de carbono)	4	0.5
NOX(óxidos nitrosos)	7	5.9
HC (hidro carbono)	1.1	04
PM (partículas)	0.15	0.12

*Nota:* Muestra normas de regulación máxima de gases contaminantes. Fuente: Recuperado de <https://www.google.com/search?q=normas.euro.common.rail+diesel&safe=active&client=ms-android-samsung-gj->

- Varilla de empuje: es el encargado de comunicar los movimientos entre el resorte y la válvula de aguja.
- Tornillo de reglaje: es el encargado de ajustar por medio de un tornillo la presión de inyección de combustible en el sistema.
- Racor de cierre: emite una película de combustible entre la porta tobera y la válvula de aguja por ello se lubrica todos los elementos del inyector en el proceso de inyección, El racor de cierre genera una hermeticidad que permite el regreso del combustible residual al depósito de combustible.

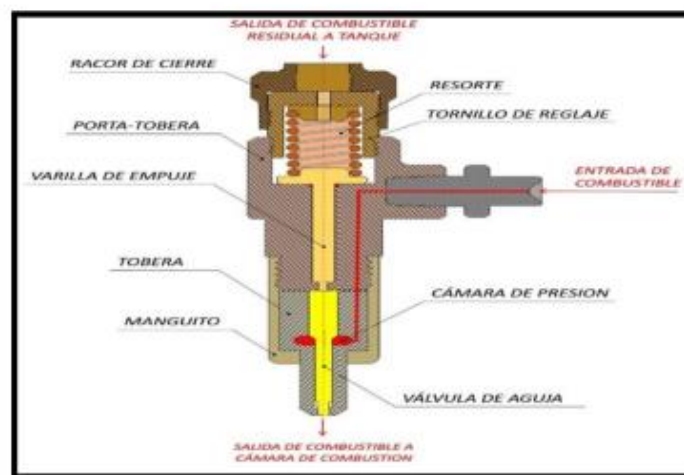


Figura 5. Partes de un inyector y su funcionamiento. Fuente: Recuperado de <https://blog.reparacion-vehiculos.es/tipos-de-inyectores-diescl-y-consejos-de-mantenimiento>

#### 1.4 Motivos de la evolución del control electrónico

Según estimaciones el principal motivo que originó el gran peligro ecológico, son gracias a las emisiones de gases contaminantes de los vehículos automotrices, ocasionando cambios climáticos y el problema de la contaminación ambiental (Organización Mundial de la Salud [OMS], 2015). Como dato fundamental sabemos que la quinta parte de

### 1.3 Partes de un inyector y su funcionamiento

Un inyector diésel está ubicado en la parte superior de los cilindros, puede ser de combustión directa o mediante una precámara ubicada en el boque de la culata, el movimiento está originado mediante la presión de combustible ocasionada por la inyección. La centralita electrónica controla a cada uno de los inyectores individualmente, los encargados de determinar la proporción de combustible para el correcto funcionamiento del vehículo (Martin, 2013, p.15). El inyector este conformado por las partes siguientes:

- Porta-tobera: es una estructura de acero encargada de guiar la estructura de los componentes del inyector. Por medio de esta estructura, ingresa el carburante con una presión mediante el inyector a la cámara de combustión o precámara de combustión.
- Tobera (o inyector): elemento fijado en la porta-tobera por medio de una funda roscada. En la parte interior conformada por una válvula de aguja; la cual permite formar una presión en la cámara la que estanca el paso de combustible cuando sube la aguja se produce la inyección por medio de los orificios del inyector.
- Válvula de aguja: es el encargado de dar cierre al paso de combustible en estado de reposo, y en estado activo la válvula actúa como una compuerta de ingreso de combustible.
- Resorte: tensor de reposo que ejerce una fuerza que ayuda al cierre hermético de la válvula generando oposición de combustible en la salida del inyector. El aumento de presión del combustible recae directamente el cual levanta la válvula, generando una fuerza proporcional al resorte. En ese instante el carburante ingresa mediante los orificios del inyector a la cámara o precámara de combustión de cada cilindro, al término de inyección, el resorte regresa a su lugar original dando un empuje a la válvula de aguja contra el asiento generando estanquidad.

Tabla 7  
Normas euro de contaminación ambiental desde el año 2000

NORMA	VIGENTE APARTIR DEL AÑO	CO	HC	NOx	PM
Euro 3	2000	2.1	0.06	5.0	0.10
Euro 4	2005	1.5	0.46	3.5	0.02
Euro 5	2009	1.5	0.46	2.0	0.02

Cantidades dadas en g/kWh

*Nota:* Muestra tres normas desde el año 2000 en regulación de gases contaminantes. Fuente: Recuperado de <https://www.google.com/search?q=normas.euro.common.rail+diesel&safe=active&client=ms-android-samsung-gj->

### 1.6 Elementos fundamentales del sistema de inyección electrónica.

- Organismo de mariposa.
- Caudalímetro.
- Interruptor de accionamiento de mariposa.
- Sensor de temperatura del refrigerante.
- Sonda Lambda.
- Unidad de control electrónica (ECU).

## CAPITULO II

### Sistema de combustible Common Rail

#### 2.1 Definición del sistema Common Rail

Fue creado por Fiat y Magneti Marelli a comienzos de los años 90 y finalmente manufacturado por Bosch, ha sido incorporado en distintos modelos de vehículos debido a la respectiva facilidad para su combinación, el sistema Common Rail asume las siguientes funciones generales: proporciona el combustible necesario en cualquier ocurrencia, crea alta presión para la inyección y distribución del combustible, inyecta el combustible a cada cilindro con exactitud y precisión en orden adecuado.

Según el manual de Servicio nacional de Adiestramiento en Trabajo Industrial nos dice que la inyección de presión alta en el sistema es regulada de manera electrónica con la capacidad de generar presión y volumen independiente al giro obtenido mediante la puesta en marcha del motor y consecuentemente con el trabajo deseado del operario. La alta presión de inyección se acumula en un riel común. (2005, p.8)

Este sistema está compuesto esquemáticamente por una línea de presión baja que inicia dentro o fuera del depósito de combustible a partir de una bomba de transferencia dentro o fuera del depósito de combustible o según el fabricante hasta la línea de alta presión obtenida por la bomba alta y desde este elemento un circuito de alta presión hasta

los inyectores. Los componentes que intervienen en el sistema de riel común se pueden visualizar en la siguiente figura.

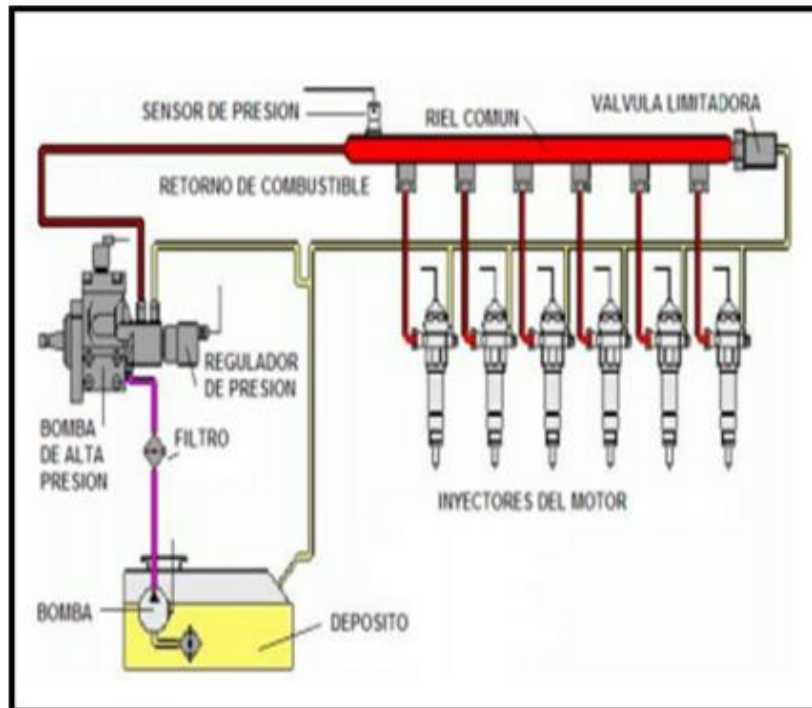


Figura 6. Sistema funcionamiento de inyectores. Fuente: Recuperado de <https://docplayer.es/116264200-Departamento-de-ciencias-de-la-energia-y-mecanica.html?hcb=1>

## 2.2 Componentes del sistema Common Rail

### 2.2.1 Depósito de combustible.

El tanque o depósito de combustible tiene la función de resistir presiones altas y corrosión, mantener estanqueidad incluso a una sobre presión del sistema. La sobre presión generada debe dispersarse por sí sola a través de grietas diseñadas exactamente para ese fin por medio de las válvulas de seguridad del sistema de alimentación de combustible. El carburante en ningún caso puede salir por medio de la tapa de llenado de combustible o por medio de los elementos de compensación de

presiones, tampoco no puede salir carburante en los casos que el vehículo se encuentra ladeado o en peor de los casos volteado.



*Figura 7.* Depósito de combustible. Fuente: Recuperado de <https://www.Gastankdepot.com/kbc-03-gas-tank-hyundai-elantra-tiburon.html?hcb=1>

### **2.2.2 Bomba de transferencia.**

Es el elemento designado de extraer combustible desde el tanque de combustible del vehículo, impulsando a que circule por los filtros, y enviándolo hacia la línea de alta presión, a una transferencia de presión aproximadamente de 6 bar o según medidas de presión del fabricante (Delphi, 2007).

En un instante la bomba de transferencia tiene un volumen mínimo en su cámara en ese instante el eje de la bomba rota en sentido anti horario produciendo el ingreso del combustible por depresión. Cuando se completa el volumen de combustible en la cámara, el combustible es enviado por el conducto de salida hacia el filtro con una presión de 6 bar y posteriormente con dirección a ingreso de alta presión originado por la bomba de alta (Cobo, 2013).

- Presión de 6 bar aproximadamente o según manual de especificaciones.
- 90 litros/h a 300 rpm de la bomba.
- 650 litros/h a 2500 rpm de la bomba.
- Aspiración 65 mbar a 100 rpm de la bomba.

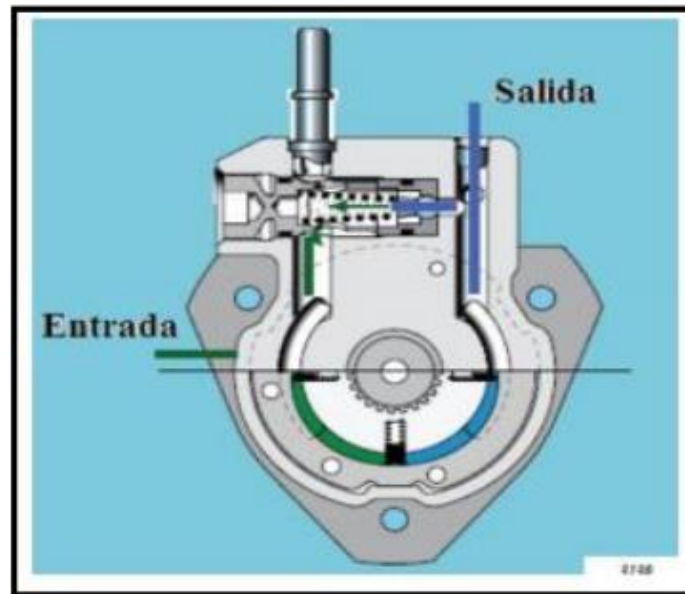


Figura 8. Bomba de transferencia del sistema CRDI. Fuente: Recuperado de [https://www.google mages/26-0.jpg&imgrefurl=https://docplayer.es/53006963-Facultad-de-ciencia-y-tecnologia.html&h=444&w=451&tbid=eB-](https://www.google.mages/26-0.jpg&imgrefurl=https://docplayer.es/53006963-Facultad-de-ciencia-y-tecnologia.html&h=444&w=451&tbid=eB-)

### 2.2.3 Filtro de combustible.

El sistema de inyección diésel de riel común, funciona eficientemente si el motor está totalmente libre de impurezas. El funcionamiento apropiado de los filtros se logra si se cumple el período de reposición del mismo según lo especificado por el fabricante, así mismo, liberando el agua que se encuentra retenida en el depósito de acumulación cada cambio de aceite (Coruña, 2016).



Es el encargado de recibir el combustible enviado por la bomba de baja presión, como también elevar y tener una presión constante para el efectivo trabajo del inyector.

Es un componente del sistema de inyección que tiene como objetivo alimentar de combustible a los inyectores con precisión de manera eficiente y eficaz, en función del conductor y condiciones de trabajo.

La bomba de alta presión mantiene una presión necesaria independientemente a las revoluciones del motor, es decir, sean bajas o altas. Encargadas de suministrar un caudal y presión constante de combustible que alimentara a los inyectores. Generalmente, los sistemas de riel común son equipados con bombas de pistones radiales. La figura 10 y 11 muestra la bomba.



Figura 10. Bombas de alta presión. Fuente : Manual Senati, 2015.

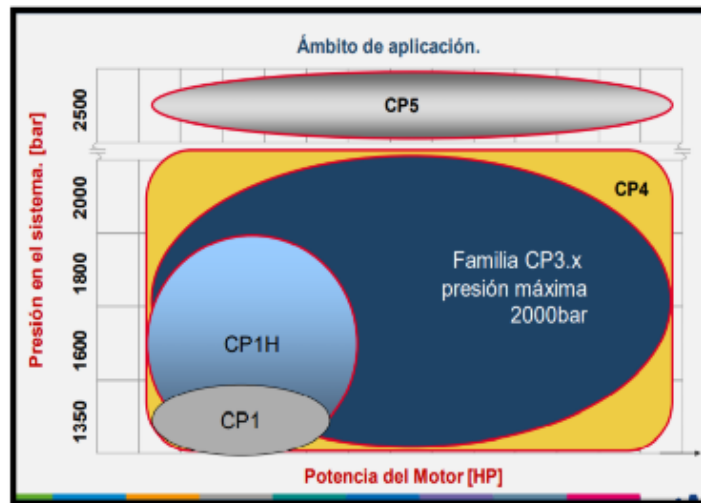


Figura 11. Potencia del motor. Fuente: Manual Senati, 2015.

### 2.2.5 Riel.

Es el elemento que acumula la alta presión enviada por la bomba, como también envía el carburante a través de las cañerías hacia los inyectores. Su geometría es cilíndrica que evita los puntos donde se concentran los esfuerzos por las altas presiones. El riel acumula una presión de 1400 bar y sus componentes se observan en la figura 12 (Cobo, 2013).

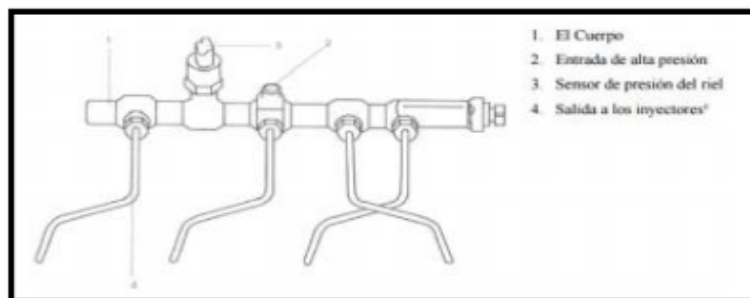


Figura 12. Riel Fuente: Recuperado de <https://www.google.com/imgres?imgurl=https://t3.gstatic.com/images/>

Los filtros deberán soportar las presiones elevadas de funcionamiento y las tolerancias de la tecnología de precisión del sistema de riel común. El núcleo filtrante está conformado por capas reforzadas de poliéster y celulosa acumulando la suciedad del combustible ofreciendo elevados niveles de depuración. La construcción del filtro, se realiza con un elemento en forma de V radial, garantiza la separación de agua, previniendo la corrosión (Coruña, 2016).

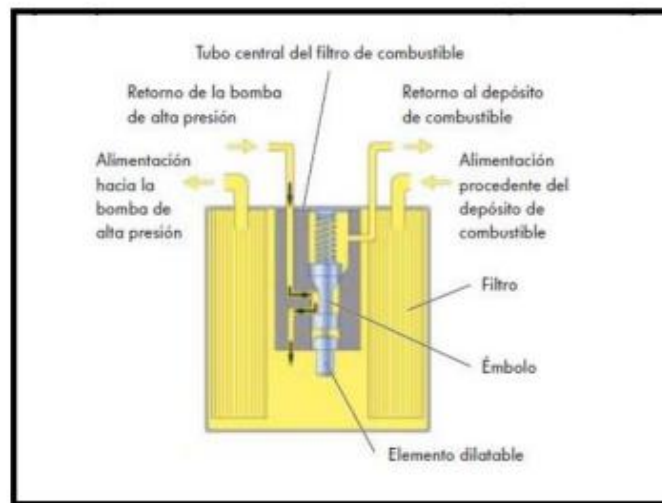


Figura 9. Filtro de combustible. Fuente: Recuperado de <https://www.google.com/imgres?imgurl=http://www.fbelectronica.com/Infosistemas/Sistemas%2520Diesel/TDI/Common%2520rail/imag/Filtro1.png&imgrefurl=>

#### 2.2.4 Bomba de alta presión.

Es un equipo importante en el sistema de inyección de un automóvil y su funcionamiento es aumentar la presión del combustible para el correcto funcionamiento de los inyectores, dosificando la cantidad de combustible que se inyectara a cada cilindro, esta sincronizada al motor mediante un acoplamiento flexible respectivamente sincronizado (vallejo, 2013).

### **2.2.6 Los Inyectores.**

Son elementos encargados de recibir el combustible acumulado en el riel y su misión es atomizar una cantidad pequeña en la cámara o precámara de combustión de los motores diésel (Carrión, 2012).

La fabricación de los inyectores es muy minuciosa ya que los elementos internos tienen ajustes muy precisos para que trabajen a elevadas presiones que puedan llegar hasta 2000 bar, aperturadas por milésimas de segundos y con temperaturas que pueden alcanzar entre los 500 y 600 °C. Son estimulados por medio de un actuador piezoeléctrico. La rapidez de conmutación de un actuador piezoeléctrico es alrededor de cuatro veces superior a la de una válvula electromagnética. Los inyectores poseen varias características en su funcionamiento tales como:

- Ejecutar posiblemente varias inyecciones en un ciclo de trabajo.
- Múltiples inyecciones debidamente dosificables.
- Inyectar de forma homogénea cantidades de combustible.
- Permitir inyectar pequeñas cantidades cada vez que se requiera.
- Inyectar a presiones elevadas.

Los componentes de un inyector Diesel del sistema de riel común se pueden observar la figura 13.

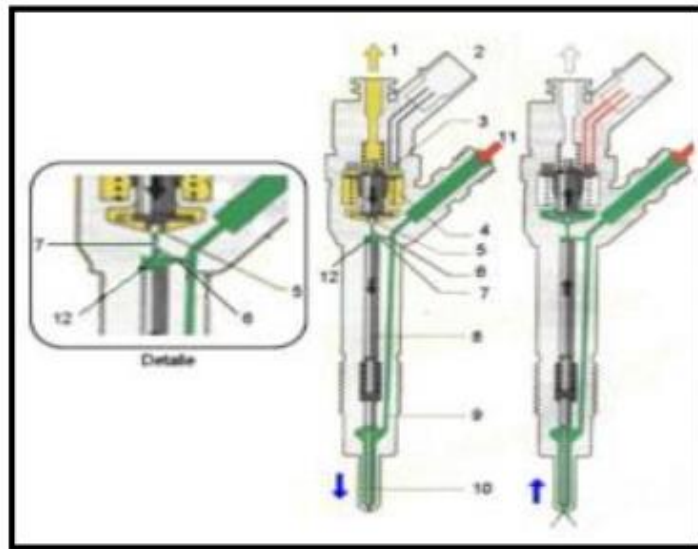


Figura 13. Componentes del inyector. Fuente: Recuperado de <https://www.google.com/imgres?imgurl=https://t0.gstatic.com/images?q%3Dtb:ANd9GcRrSNZra1Nshmk3OqHfd6GNHsAAtycaJhQ3vbaBqfVN5sHcvrP&imgrefurl=https://es>.

Las electroválvulas de los inyectores permiten la ventaja de que trabajen en 3 etapas para suministrar la cantidad apropiada de combustible en el momento apropiado, estas etapas son post inyección, inyección principal y pre inyección. Estas etapas se describen a continuación.

### 2.2.7 Pre inyección.

Se produce antes del proceso de inyección principal, encargada de inyecta una mínima proporción de combustible en la cámara o antecámara de combustión generando un incremento considerable de presión y temperatura en la cámara o antecámara de combustión. Gracias a ello se simplifica el espacio de retardo de autoignición correspondiente a la inyección principal, reduciendo el desnivel del ascenso de la presión y minimizando los picos de presión en la cámara. Por consecuencia reducimos la sonoridad de combustión y emisión de gases contaminantes (Yerera, 2014).

### **2.2.8 Tuberías de conexión.**

Las tuberías deben soportar inmutablemente presiones máximas originadas por el sistema de inyección y los vaivenes de presión durante los descansos de inyección. Los diferentes trayectos entre los inyectores y el riel se compensan mediante arqueos pronunciados en el conveniente tendido de las diferentes cañerías de inyección. El diámetro de las tuberías debe ser lo más cortas posibles (Braum, 2016).

## Anexo 4

Ingeniare. Revista chilena de ingeniería, vol. 26 N° 4, 2018, pp. 654-662

### Estudio de rugosidad por análisis de Fourier de las toberas de inyectores en sistemas riel común (CRDI)

*Roughness study by Fourier analysis of the injectors nozzles in systems common rail (CRDI)*

Luis Mena Navarrete<sup>1</sup>  
Norma Barreno<sup>2</sup>

Marcelo Román<sup>2</sup>  
Stalin Mena Palacio<sup>1</sup>

Edilberto Antonio Llanes Cedeño<sup>3</sup>  
Juan Carlos Rocha-Hoyos<sup>3</sup>

Recibido 26 de abril de 2017, aceptado 6 de noviembre de 2017

*Received: April 26, 2017 Accepted: November 6, 2017*

#### RESUMEN

El desgaste en los sistemas de inyección a diésel es una de las averías que inciden directamente en la eficiencia del consumo de los Motores de Combustión Interna (MCI). Los sistemas de inyección de Riel Común (*common-rail* CRDI) son en la actualidad los más empleados, uno de los elementos principales es la aguja del inyector. El presente trabajo tiene como objetivo: evaluar el desgaste superficial del cono y vástago de la aguja de la tobera del inyector de la marca Bosch de los sistemas CRDI, mediante la Transformada Rápida de Fourier (TRF), para filtrar el ruido introducido por el rugosímetro portátil SHBLST241 garantizándose las mediciones de rugosidades. La metodología utilizada es de tipo experimental, se toman valores en función de sus alturas y profundidades; y la distancia media entre los picos locales del perfil validándose de forma analítica, se aplica un análisis descriptivo para verificar la normalidad de las observaciones y posteriormente se considera la Transformada Rápida de Fourier para la investigación del ruido, el mismo que será caracterizado por el tipo de distribución o función de densidad probabilística de las amplitudes presentes. En la experimentación se consideró elementos nuevos que sirvieron como referencia para el análisis de las piezas usadas. Se elaboró una interfaz gráfica en Matlab para el estudio de Fourier. Los resultados obtenidos muestran porcentajes bajos de diferencias entre los datos obtenidos por el rugosímetro y el cálculo analítico de Ra, siendo en el cono de 0.07 % para el nuevo y 0.35 % para el usado, en el vástago 3.1 % para el nuevo y 0 % para el usado; se concluye que el procesamiento mediante la TRF disminuye el ruido en la adquisición de datos.

Palabras clave: Riel común, desgaste superficial, rugosidad, transformada rápida de fourier.

#### ABSTRACT

*Wear in diesel injection systems is one of the problems that directly affect the efficiency of the consumption of Internal Combustion Engines (ICE). Common rail systems (CRDI) are currently the most used, one of*

<sup>1</sup> Departamento de Energía y Mecánica, Universidad de las Fuerzas Armadas, Av. General Rumiñahui S/N y Paseo Escénico Santa Clara Código Postal: 1715231b, Sangolquí Ecuador. E-mail: lamena@espe.edu.ec; jsmena@espe.edu.ec

<sup>2</sup> Departamento de Ciencias Exactas, Universidad de las Fuerzas Armadas, Av. General Rumiñahui S/N y Paseo Escénico Santa Clara Código Postal: 1715231b, Sangolquí Ecuador. E-mail: wroman@espe.edu.ec; nbarreno@espe.edu.ec

<sup>3</sup> Facultad de Arquitectura e Ingeniería, Universidad Internacional SEK, Quinta Transversal y Alberto Einstein Código Postal: 170134, Quito Ecuador. E-mail: antonio.llanes@uisek.edu.ec; carlos.rocha@uisek.edu.ec

the main elements is the injector needle. The objective of the present work is to evaluate the superficial wear of the cone and needle stem of the Bosch nozzle of the CRDI systems using the Fast Fourier Transform to filter the noise introduced by the portable rugosimeter SHBLST241, ensuring Roughness measurements. The methodology used is of experimental type, values are taken according to their heights and depths. The average distance between the local peaks of the profile being validated analytically, a descriptive analysis is applied to verify the normality of the observations and later the Fast Fourier Transform is considered for the investigation of the noise, the same that will be characterized by the type of distribution or function of probabilistic density of the present amplitudes. In the experimentation elements new were considered that served as a reference for the analysis of the pieces used. A graphical interface was developed in Matlab for the Fourier study. The results obtained show low percentages of differences between the data obtained by the rugosimeter and the analytical calculation of Ra, in the cone of 0.07 % for the new and 0.35 % for the used, in the stem 3.1 % for the new one and 0 % for the used; It is concluded that the through FFT processing reduces the noise in the data acquisition.

**Keywords:** Common rail, surface wear, roughness, fast fourier transform.

## INTRODUCCIÓN

Uno de los principales problemas que experimentan los vehículos con CRDI, son las averías en el sistema de alimentación (pérdida de potencia, alto consumo de combustible, exceso de humos negros, etc.), causados por el desgaste o daños en las superficies de la aguja del inyector, originados por depósitos orgánicos e inorgánicos y procesos de cavitación [1-2].

El principal causante del desgaste en las agujas es la alta presión a la que funcionan los inyectores (15 a 200 MPa) [3], así como las altas temperaturas a la que están sometidas (superior a 500 °C); además, la norma INEN 1489 permite hasta el 0.05 % de azufre en la composición del diésel, este porcentaje es suficiente para que se acelere el desgaste en estas zonas de los inyectores [3-5].

Para tratar éste problema, se utiliza el instrumento denominado rugosímetro, donde el problema derivado de sus mediciones se centra en la generación de ruidos en la señal proporcionada, estos ruidos pueden ser provocados por la inadecuada manipulación del técnico, mal alineamiento del equipo y la pieza mecánica, presencia de polvo, campos electromagnéticos, entre otros; estos inconvenientes introducen errores en el diagnóstico de los elementos objeto de análisis.

La presente investigación tiene como objetivo: evaluar el desgaste superficial del cono y vástago de la aguja de la tobera del inyector de la marca Bosch de los sistemas CRDI, mediante la Transformada Rápida de Fourier, para filtrar el ruido introducido por el rugosímetro portátil SHBLST241 garantizándose las mediciones de rugosidades.

## ANÁLISIS TEÓRICO

### Parámetros del rugosímetro

Los datos de rugosidad se han tomado con el rugosímetro portátil SHBLST241, 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, como se presenta en la Figura 1.

Además, entre sus características posee un software denominado Presurf Enterprise, el cual interactúa con la PC, vía cable USB o por medio de bluetooth; es una herramienta fundamental en 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), según calibración ISO 17025, su rango de parametrización es Ra (0.005  $\mu\text{m}$ . ~ 16  $\mu\text{m}$ ), Rz (0.02  $\mu\text{m}$ . ~ 160  $\mu\text{m}$ ) [6-7].

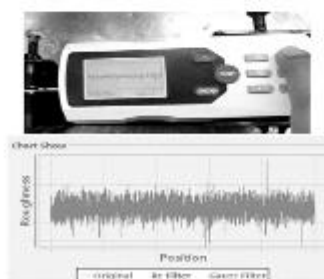


Figura 1. Conexión del rugosímetro al PC [5].



### 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 200 MPa, 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 [8].

Se emplea un pedestal en el cual se sostienen las toberas nuevas y usadas, para que el sensor palpador del rugosímetro realice el movimiento y tome 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 observar en las Figuras 2 y 3.

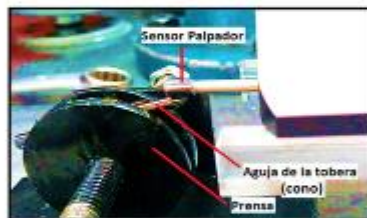


Figura 2. Medición del cono de la aguja (Bosch).



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

### Cálculos de rugosidad

La rugosidad está formada por surcos o marcas dejadas por los agentes que atacan la superficie en el proceso de mecanizado, los parámetros de medición de rugosidad se plantea según en la línea media "M". Entonces es conveniente realizar cálculos de rugosidad para corroborar las mediciones tomadas; para este caso se determina el parámetro de rugosidad media aritmética ( $R_a$ ) y la rugosidad media ( $R_z$ ) [9].

$R_a$ , media aritmética de los valores absolutos de los alejamientos del perfil desde la línea central, dado por la ecuación (1) y (2):

$$R_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i| \quad (1)$$

$$R_a = \frac{1}{L_m} \int_0^{L_m} |y| dx \quad (2)$$

Donde:  $n$  es el número de ordenadas consideradas;  $|y_i|$  es la ordenada de la señal;  $L_m$  es longitud de medición.

$R_z$  según la norma ISO lo define como la diferencia entre los promedios de los cinco picos más altos y los valles más profundos dentro de la longitud de evaluación [10], medida en la dirección de la amplificación vertical dentro de la longitud ( $L_m$ ) de evaluación, dado por la ecuación (3):

$$R_z = \frac{\sum_{i=1}^5 y_{pi} - \sum_{i=1}^5 y_{vi}}{5} \quad (3)$$

Donde:

$y_{pi}$  - Picos más altos,

$y_{vi}$  - Profundidades más notables.

### Normalidad de la rugosidad de la aguja del inyector

El análisis de normalidad permite determinar si una serie de datos sigue una función normal o no, lo cual define la aplicación de la estadística paramétrica o no paramétrica; para ello se realizan pruebas como la de Kolmogorov-Smirnov, además, permite evidenciar la presencia de valores críticos en la lectura de datos, los mismos que se podrían aducirse a la presencia de ruido en la adquisición de la señal o lectura de datos.

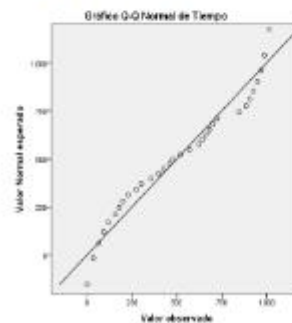


Figura 4. Análisis de normalidad del tiempo de muestreo.

Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra		Tiempo
N		22
Parámetros normales <sup>a,b</sup>	Media	511,70
	Desviación típica	221,506
Diferencia máx extrema	Absoluta	,101
	Positiva	,092
	Negativa	-,101
Z de Kolmogorov-Smirnov		,574
Sig. asintót. (bilateral)		,897

a. La distribución de contraste es la Normal.  
b. Se han calculado a partir de los datos.

Figura 5. Prueba de normalidad del tiempo en la lectura de datos.

En las Figuras 4 y 5 de normalidad Q-Q se ejemplifica, para analizar la diferencia entre la distribución de probabilidad de la muestra extraída y la distribución utilizada para la comparación. Se verifica que la prueba de Kolmogorov-Smirnov para el análisis del tiempo con respecto a la lectura de los datos, el valor de  $p$  (Sig. Asintót) es de 0.897 superior al 0.05, entonces para este caso se acepta la hipótesis nula que consiste en que la toma de los valores siguen una distribución normal [11-14].

#### Transformada rápida de Fourier

La expansión en Serie de Fourier en su forma compleja para una señal continua está dada por la ecuación (4) [15-16]:

$$f(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} C_n e^{jn\omega_0 t} \quad (4)$$

Con la base de las ecuaciones (5) y (6):

$$\omega_0 = \frac{2\pi}{T} \quad (5)$$

$$C_n = \frac{1}{T} \int_{-\infty}^{\infty} f(t) e^{-jn\omega_0 t} dt \quad (6)$$

Donde la explicación de sus variables es la siguiente:

$f(t)$  - Representa el modelamiento de la señal obtenida del rugosímetro

$\omega_0$  - Frecuencia angular inicial de la señal

$n$  - Número de elementos de la expansión

$T$  - Periodo de la señal

$C_n$  - Coeficiente de la serie de Fourier en su forma compleja

$\pi$  - Pi

$t$  - tiempo

$j$  - coordenada

La modelación de la señal es evaluada en términos de los datos proporcionados por el rugosímetro, para aplicar el análisis de la Transformada Rápida de Fourier a la señal adquirida por el rugosímetro, donde se determina el análisis de la rugosidad en términos del valor de sus ordenadas  $y_j$ . Además, se aplica las condiciones de Dirichlet para la convergencia de la expansión en serie de Fourier de la función, siendo ésta una función continua, y así converger la señal [17].

Para el análisis del ruido se aplica la Transformada Rápida de Fourier, que mediante la implementación de una interfaz gráfica se presenta el análisis para los picos más altos y los valles más profundos dentro de la longitud de evaluación, ya que se considera el ruido Gaussiano [18].

## RESULTADOS

### Análisis de la rugosidad

La rugosidad está formada por surcos o marcas dejadas por los agentes que atacan la superficie de la tobera del inyector donde se puede obtener a  $R_a$  (rugosidad media aritmética),  $R_q$  (rugosidad media cuadrática),  $R_t$  (profundidad total de la rugosidad),  $R_z$  (rugosidad media),  $R_p$  (cresta mayor del perfil),  $R_v$  (valle más profundo),  $R_m$  (rugosidad máxima), todos estos parámetros visualizados desde la Figura 6 a la Figura 9 para su respectivo análisis [9].

### Cálculo del parámetro $R_a$ (Cono de la aguja nueva de la tobera del inyector marca Bosch)

En la Figura 6 se presenta la evaluación realizada por el rugosímetro en el cono de la aguja de tobera nueva. Según Groover, las válvulas giratorias de alta presión se establece con un valor de  $R_a = 0.06 \mu\text{m}$  [19], y para este análisis se considera además una longitud de medición,  $L_m = 1.2 \mu\text{m}$ .

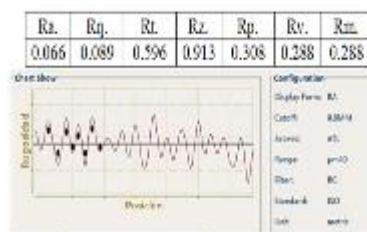


Figura 6. Rugosidad del cono de la aguja nueva de la tobera inyector marca BOSCH.

Donde  $y$ , es la función resultante del perfil:

$$|y| = -\frac{x^2 - 2.4x + 0.79}{2.6}$$

Entonces, el cálculo para  $R_a$  es:

$$R_a = \frac{1}{1.2} \int_0^{1.2} -\frac{x^2 - 2.4x + 0.79}{2.6} dx$$

Se obtiene un valor de  $R_a = 0.0653 \mu\text{m}$ , comparándose este valor con el evidenciado en la pantalla del rugosímetro visto en la Figura 6 para  $R_a$ , muestra un error del 0.07 %.

#### Cálculo del parámetro $R_a$ (Cono de la aguja usada de la tobera del inyector marca Bosch)

En la Figura 7 se muestra la evaluación del rugosímetro en el cono de la aguja de tobera usada, además se considera una longitud de medición de  $L_m = 1.2 \mu\text{m}$ .

$R_a$	$R_q$	$R_t$	$R_z$	$R_p$	$R_v$	$R_m$
0.071	0.095	0.836	1.419	0.349	0.507	0.507

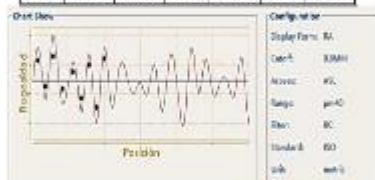


Figura 7. Rugosidad del cono de la aguja usada de la tobera inyector marca BOSCH.

Reemplazo  $y$  que es la función del perfil del cono de la aguja de tobera usada en la ecuación (2), se tiene a  $R_a$  como:

$$R_a = \frac{1}{1.2} \int_0^{1.2} -\frac{x^2 - 1.9x + 0.471}{2.8} dx$$

Por tanto:  $R_a = 0.0675 \mu\text{m}$ , este valor se confronta con la pantalla del rugosímetro obteniéndose un error del 0.35 %.

#### Cálculo del parámetro $R_a$ (Vástago de la aguja nueva de la tobera del inyector marca Bosch)

En la Figura 8, se presenta la evaluación realizada por el rugosímetro en el vástago de la aguja de la tobera del inyector nueva. Según Groover, las superficies mecanizadas, ejes oscilan entre un valores de  $R_a = 1$  y  $2 \mu\text{m}$  [19], se considera una longitud de medición de  $L_m = 1.2 \mu\text{m}$ , para su análisis.

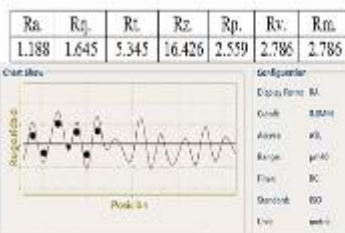


Figura 8. Rugosidad del vástago de la aguja de la tobera inyector nueva.

El cálculo de  $R_a$  se obtiene reemplazando  $y$  la función del perfil del vástago de la aguja de tobera nueva, en la ecuación 2:

$$R_a = \frac{1}{1.2} \int_0^{1.2} -\frac{x^2 - 3x + 0.3}{1.4} dx$$

Se obtiene un valor de:  $R_a = 1.157 \mu\text{m}$ , el mismo que se compara con la evidenciada en la pantalla del rugosímetro de la Figura 8, presentándose un error del 3.1 %.

#### Cálculo del parámetro $R_a$ (Vástago de la aguja usada de la tobera del inyector marca Bosch).

En la Figura 9 se muestra la evaluación por el rugosímetro en todos sus parámetros. Donde  $y$  es la función del perfil en el vástago de la aguja de la tobera del inyector usada:

$R_a$	$R_q$	$R_t$	$R_z$	$R_p$	$R_v$	$R_m$
1.831	2.448	9.636	34.615	2.072	7.564	7.564



Figura 9. Rugosidad del vástago de la aguja de la tobera del inyector usada.

El cálculo de  $R_a$ :

$$R_a = \frac{1}{1.2} \int_0^{1.2} -\frac{x^2 - 6.21x + 0.5}{1.5} dx$$

Se obtuvo un valor de:  $R_a = 1.831 \mu\text{m}$ , El mismo que evaluado con el valor de la pantalla del rugosímetro, presenta un error del 0 %. El procedimiento asumido en el estudio permitió evaluar las variables de rugosidades, por GAO [17].

### Análisis de normalidad de la rugosidad del cono de la aguja usada del inyector

La prueba de Kolmogorov-Smirnov para el análisis del parámetro  $R_a$  determina el valor de  $p$  (Sig. Asintót) es de 0.018 inferior al 0.05, entonces se rechaza la hipótesis nula que consiste en que la toma de los valores sigue una distribución normal. Esto visto en la Figura 10 y 11, bajo el criterio de normalidad.

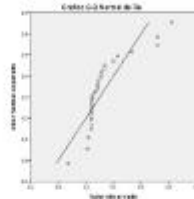


Figura 10. Normalidad del parámetro  $R_a$ .

Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra		Ra
N		32
Parámetros normales <sup>a,b</sup>	Medida	.31967038
	Desviación típica	.161791714
Diferencias más extremas	Absoluta	.271
	Positiva	.271
	Negativa	-.215
Z de Kolmogorov-Smirnov		1.533
Sig. asintót. (bilateral)		.018

a. La distribución de contraste es la Normal.  
b. Se han calculado a partir de los datos.

Figura 11. Prueba de normalidad del parámetro  $R_a$ .

La prueba de Kolmogorov-Smirnov para el análisis del parámetro  $R_z$  determina el valor de  $p$  (Sig. Asintót) es de 0.028 inferior al 0.05, entonces los valores observados no están sobre la recta esperada bajo el supuesto de normalidad de los datos obtenidos por el rugosímetro. Esto se muestra en la Figura 12 y 13, bajo el criterio de normalidad. No responde a una distribución normal lo cual fundamenta otra distribución que puede ser exponencial, Poisson, entre otras.

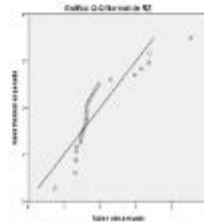


Figura 12. Normalidad del parámetro  $R_z$ .

Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra		Rz
N		31
Parámetros normales <sup>a,b</sup>	Medida	1.89276066
	Desviación típica	.762605209
Diferencias más extremas	Absoluta	.262
	Positiva	.262
	Negativa	-.202
Z de Kolmogorov-Smirnov		1.480
Sig. asintót. (bilateral)		.028

a. La distribución de contraste es la Normal.  
b. Se han calculado a partir de los datos.

Figura 13. Prueba de normalidad del parámetro  $R_z$ .

### Análisis de transformada rápida de fourier en el cono de la aguja usada del inyector

Se considera los datos obtenidos por el rugosímetro como una sucesión de números, los mismos que son considerados como una combinación lineal en términos de funciones trigonométricas o exponenciales, es decir; se obtiene una expansión en serie de Fourier de los elementos de la sucesión donde sus coeficientes proporcionan la amplitud de las funciones sinusoidales, basados en la convergencia absoluta uniforme de la serie, de forma análoga al trabajo realizado por SCHMITT [18].

#### Expansión en Serie de Fourier aplicada

$$f(x) = \frac{1}{2} a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cos\left(\frac{n\pi}{p} x\right) + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \sin\left(\frac{n\pi}{p} x\right)$$

$$a_0 = \frac{1}{1.2} \int_0^{1.2} -\frac{x^2 - 1.9x + 0.471}{2.8} dx$$

$$a_k = \frac{1}{1.2} \int_0^{1.2} -\frac{x^2 - 1.9x + 0.471}{2.8} \cos\left(\frac{n\pi}{1.2} x\right) dx$$

$$b_k = \frac{1}{1.2} \int_0^{1.2} -\frac{x^2 - 1.9x + 0.471}{2.8} \sin\left(\frac{n\pi}{1.2} x\right) dx$$

En la Figura 14, se representa el análisis de convergencia de los coeficientes  $a_k$  y  $b_k$  de la expansión en Serie de Fourier en su forma trigonométrica, de lo cual se puede evidenciar su convergencia al valor de cero.

La modelación de la señal es a partir de sus ordenadas  $y_i$ , además, se considera la longitud del estudio de la señal, que se presenta en la Figura 15, donde se muestra la señal original y la expansión en serie de Transformada Rápida de Fourier, que se plantea mediante la elaboración de una interfaz gráfica que representa el análisis para los picos más altos y los valles más profundos dentro de la longitud de evaluación, ya que se considera para su análisis el ruido Gaussiano, que se muestra en la Figura 16.

También, se observa que la generación del ruido en el análisis de la superficie de la pieza mecánica es filtrada para tener una mejor lectura de la señal.

En la Figura 15 se representa la modelación matemática de la señal original mostrada de forma continua y el análisis de Fourier implementado a los datos obtenidos por parte del rugosímetro (mostrado de forma ondulada), pudiendo evidenciar una convergencia de la serie de Fourier al modelo formulado; la representación gráfica en los extremos obedece al fenómeno Gibbs.

Se presenta en la Figura 16, el dominio temporal y dominio frecuencial, se tiene la representación en dominio de tiempo y dominio de frecuencia de los datos obtenidos mediante el rugosímetro; en las gráficas de dominio temporal (tratado) y mundo frecuencial (tratado) se tiene la representación del tratamiento de los datos mediante el análisis de Fourier aplicando filtro de tratamiento, donde el resultado del tratamiento de la señal en dominio de tiempo (señal filtrada) que es de 0.3398, el mismo que se puede evidencia en la figura. En tanto que en dominio de frecuencia la señal filtrada converge hacia cero.

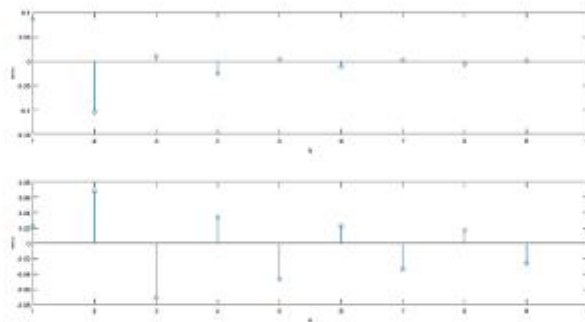


Figura 14. Análisis de Fourier a las ordenadas de la señal.

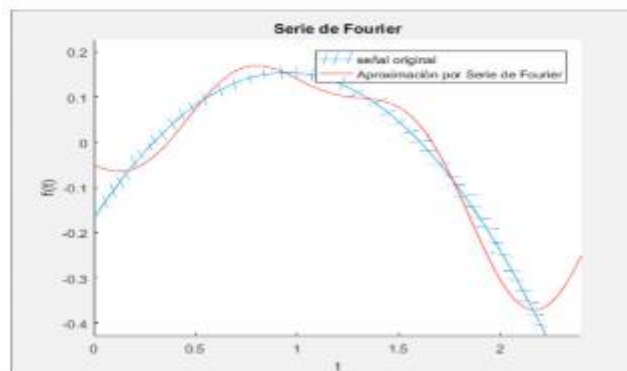


Figura 15. Aproximación de la señal por Serie de Fourier.

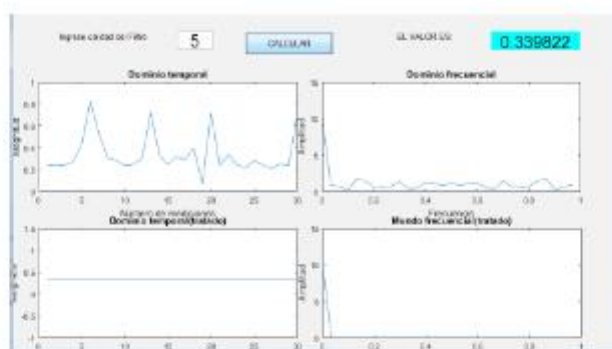


Figura 16. Análisis del ruido en la señal.

#### Evaluación de las metodologías aplicadas en la tobera del inyector

La Tabla 1 muestra el análisis comparativo de la rugosidad de la tobera del inyector Bosch, obtenida por el rugosímetro y por el modelo matemático, existiendo un error bajo entre ambas, posibilitando la validación de los datos obtenidos.

Tabla 1. Aproximación de los datos del rugosímetro y modelo matemático.

Parte de la tobera	Característica	Análisis de comparación entre los datos del rugosímetro SHBLST241 y el modelo matemático (%)
Ra, cono	Nuevo	0.07
	Usado	0.35
Ra, vástago	Nuevo	3.1
	Usado	0

#### Aplicación de la transformada rápida de Fourier

Debido a las distancias irregulares entre los picos, la forma irregular en los picos, la presencia de componentes de baja frecuencia en la señal; se eliminaron las frecuencias bajas por medio de FFT (*Fast-Fourier-Transform*) en una primera etapa.

En la segunda etapa, se usa un filtro pasa banda, el cual localiza los máximos significativos en la señal.

En la etapa final, se eliminan los datos más alejados del promedio. Este proceso permite la detección de los picos  $\gamma$ .

Se implementa una expansión en Serie de Fourier a la función implementada para analizar su convergencia hacia la función, posteriormente a los datos entregado por el rugosímetro se aplica el estudio de la serie discreta de Fourier implementado un filtro paso-bajo para la eliminación o atenuación de las altas frecuencias de la lectura de los datos, coincidiendo con los resultados obtenidos por TIEN [15].

#### CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en el estudio de la rugosidad del cono y vástago de la aguja del inyector Bosch de los sistemas CRDI nuevo y usados, por medio del rugosímetro y cálculo analítico arrojan valores similares con bajo porcentaje de diferencia, permitiendo de este modo validar los datos obtenidos.

El análisis de normalidad de los datos obtenidos de rugosidad en la aguja del inyector para el parámetro Ra y Rz, mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov, muestran que dichos valores no siguen una distribución normal por ser el valor p (Sig. Asintót) inferior al 0.05, motivado por el ruido introducido por el rugosímetro. Para tratar este inconveniente se implementa la Transformada Rápida de Fourier que en su algoritmo tiene implementados filtros para los datos anómalos.

El Algoritmo de la Transformada Rápida de Fourier permite obtener una función en el dominio de frecuencia a partir de otra función que está en dominio del tiempo, la misma, aplicada a la función del cálculo

de la rugosidad, es un método que permite mejorar la precisión en los datos obtenidos al disminuir los ruidos producidos por el rugosímetro.

#### AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren agradecer al Laboratorio de Motores de Combustión de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE extensión Latacunga -Ecuador por permitir la utilización del rugosímetro portátil SHBLST241.

#### REFERENCIAS

- [1] C. Trobaugh, et al. "Internal Diesel Injector Deposits: Theory and Investigations into Organic and Inorganic Based Deposits". SAE International Journal of Fuels and Lubricants. Vol. 6 N° 2013-01-2670, pp. 772-784. 2013.
- [2] H.E. Zhixia, et al. "Experimental and numerical study of cavitation inception phenomenon in diesel injector nozzles". International Communications in Heat and Mass Transfer. Vol. 65, pp. 117-124. 2015.
- [3] B. T. Martínez. "Diagnóstico de motores diesel mediante el análisis del aceite usado". Reverté. 2005.
- [4] M. Zheng, T. Li y X. Han. "Direct injection of neat n-butanol for enabling clean low temperature combustion in a modern diesel engine". Fuel. Vol. 142, pp. 28-37. 2015.
- [5] INEN. Norma Técnica Ecuatoriana. Productos derivados del petróleo. Diesel. Requisitos. Instituto Ecuatoriano de Normatización. NTE INEN. Vol. 1489. 2001.
- [6] J.E. Márquez y J.E. Briceño. "Principios de las Comunicaciones". Mérida, Venezuela: ULA Ingeniería. 2005.
- [7] Digital measurement metrology Inc., Process Instruments, pp. 1. 28/03/2017. 31/03/2017. URL: <http://www.processinstruments.ca/store/surface-gauges-and-testers/portable-surface-roughness-tester.htm>
- [8] Z. Zhimin, et al. "Influences of various cutting parameters on the surface roughness during turnings stainless steel". Acoustical Physics. Vol. 57 N° 1, pp. 114-120. 2011.
- [9] L.R. Hilbert, et al. "Influence of surface roughness of stainless steel on microbial adhesion and corrosion resistance". International Biodeterioration & Biodegradation. Vol. 52 N° 3, pp. 175-185. 2003.
- [10] ISO, E. N. 1302. Geometrical Product Specifications, 2002. URL: [http://www.edu.xunta.gal/centros/cfcoruna/aulavirtual2/file.php/186/Calidad\\_Superficial.pdf](http://www.edu.xunta.gal/centros/cfcoruna/aulavirtual2/file.php/186/Calidad_Superficial.pdf)
- [11] M. Bethencourt, et al. "Aplicación del análisis de Fourier al estudio de perfiles de rugosidad de muestras erosionadas". Revista de Metalurgia. Vol. 34 Número Extra, pp. 7-11. 1998.
- [12] J.C. Alonso, S. Montenegro. "Estudio de Monte Carlo para comparar 8 pruebas de normalidad sobre residuos de mínimos cuadrados ordinarios en presencia de procesos autorregresivos de primer orden". Estudios Gerenciales. Vol. 31 N° 136, pp. 253-265. 2015.
- [13] N.M. Razali, et al. "Power comparisons of shapiro-wilk, kolmogorov-smirnov, lilliefors and anderson-darling tests". Journal of statistical modeling and analytics. Vol. 2 N° 1, pp. 21-33. 2011.
- [14] A. Justel, D. Peña, R. Zamar. "A multivariate Kolmogorov-Smirnov test of goodness of fit". Statistics & Probability Letters. Vol. 35 N° 3, pp. 251-259. 1997.
- [15] Chuen-Lin Tien, Hwei-Min Yang, Ming-Chung Liu. "The measurement of surface roughness of optical thin films based on fast Fourier transform". Thin Solid Films. Vol. 517 N° 17, pp. 5110-5115. 2009.
- [16] D.C. Montgomery. "Design and analysis of experiments". John Wiley & Sons. 2017.
- [17] Y. Gao, et al. "Experimental study of the effects of surface roughness on the vortex-induced vibration response of a flexible cylinder". Ocean Engineering. Vol. 103, pp. 40-54. 2015.
- [18] E. Schmitt, P. Idowu, A. Morales. "Applications of wavelets in induction machine fault detection/aplicaciones de wavelets en la detección de fallas de máquinas de inducción". Ingeniare: Revista Chilena de Ingeniería. Vol. 18 N° 2, pp. 158. 2010.
- [19] M.P. Groover. "Fundamentos de manufactura moderna: materiales, procesos y sistemas". Pearson Educación. 1997.

## Anexo 5

12/2/23, 10:24

Estudio de rugosidad por análisis de Fourier de las toberas de inyectores en sistemas riel común (CRDI)



**Ingeniare. Revista chilena de ingeniería**  
 versión On-line ISSN 0718-3305

**Ingeniare. Rev. chil. ing. vol.26 no.4 Arica dic. 2018**

<http://dx.doi.org/10.4067/S0718-33052018000400654>

## ARTÍCULOS

## Estudio de rugosidad por análisis de Fourier de las toberas de inyectores en sistemas riel común (CRDI)

### Roughness study by Fourier analysis of the injectors nozzles in systems common rail (CRDI)

**Luis Mena Navarrete**<sup>1</sup>

**Marcelo Román**<sup>2</sup>

**Edilberto Antonio Llanes Cedeño**<sup>3</sup>

**Norma Barreno**<sup>2</sup>

**Stalin Mena Palacio**<sup>1</sup>

**Juan Carlos Rocha-Hoyos**<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Energía y Mecánica. Universidad de las Fuerzas Armadas. Av. General Rumiñahui S/N y Paseo Escénico Santa Clara Código Postal: 1715231b. Sangolquí Ecuador. E-mail: lamena@espe.edu.ec; jsmena@espe.edu.ec

<sup>2</sup> Departamento de Ciencias Exactas. Universidad de las Fuerzas Armadas. Av. General Rumiñahui S/N y Paseo Escénico Santa Clara Código Postal: 1715231b. Sangolquí Ecuador. E-mail: wmroman@espe.edu.ec; npbarreno@espe.edu.ec

<sup>3</sup> Facultad de Arquitectura e Ingeniería. Universidad Internacional SEK. Quinta Transversal y Alberto Einstein Código Postal: 170134. Quito Ecuador. E-mail: antonio.llanes@uisek.edu.ec; carlos.rocha@uisek.edu.ec

## RESUMEN

El desgaste en los sistemas de inyección a diésel es una de las averías que inciden directamente en la eficiencia del consumo de los Motores de Combustión Interna (MCI). Los sistemas de inyección de Riel Común (*common-rail* CRDI) son en la actualidad los más empleados, uno de los elementos principales es la aguja del inyector. El presente trabajo tiene como objetivo: evaluar el desgaste superficial del cono y vástago de la aguja de la tobera del inyector de la marca Bosch de los sistemas CRDI, mediante la Transformada Rápida de Fourier (TRF), para filtrar el ruido introducido por el rugosímetro portátil SHBLST241 garantizándose las mediciones de rugosidades. La metodología

**Servicios Personalizados**

Revista

SciELO Analytics

Google Scholar H5M5 (2021)

Artículo

nueva página del texto (beta)

Español (pdf)

Artículo en XML

Como citar este artículo

SciELO Analytics

Traducción automática

Indicadores

Links relacionados

Compartir

Otros

Otros

Permalink



utilizada es de tipo experimental, se toman valores en función de sus alturas y profundidades; y la distancia media entre los picos locales del perfil validándose de forma analítica, se aplica un análisis descriptivo para verificar la normalidad de las observaciones y posteriormente se considera la Transformada Rápida de Fourier para la investigación del ruido, el mismo que será caracterizado por el tipo de distribución o función de densidad probabilística de las amplitudes presentes. En la experimentación se consideró elementos nuevos que sirvieron como referencia para el análisis de las piezas usadas. Se elaboró una interfaz gráfica en Matlab para el estudio de Fourier. Los resultados obtenidos muestran porcentajes bajos de diferencias entre los datos obtenidos por el rugosímetro y el cálculo analítico de Ra, siendo en el cono de 0.07% para el nuevo y 0.35 % para el usado, en el vástago 3.1 % para el nuevo y 0 % para el usado; se concluye que el procesamiento mediante la TRF disminuye el ruido en la adquisición de datos.

**Palabras clave:** Riel común; desgaste superficial; rugosidad; transformada rápida de fourier

## ABSTRACT

Wear in diesel injection systems is one of the problems that directly affect the efficiency of the consumption of Internal Combustion Engines (ICE). Common rail systems (CRDI) are currently the most used, one of the main elements is the injector needle. The objective of the present work is to evaluate the superficial wear of the cone and needle stem of the Bosch nozzle of the CRDI systems using the Fast Fourier Transform to filter the noise introduced by the portable rugosimeter SHBLST241, ensuring Roughness measurements. The methodology used is of experimental type, values are taken according to their heights and depths. The average distance between the local peaks of the profile being validated analytically, a descriptive analysis is applied to verify the normality of the observations and later the Fast Fourier Transform is considered for the investigation of the noise, the same that will be characterized by the type of distribution or function of probabilistic density of the present amplitudes. In the experimentation elements new were considered that served as a reference for the analysis of the pieces used. A graphical interface was developed in Matlab for the Fourier study. The results obtained show low percentages of differences between the data obtained by the rugosimeter and the analytical calculation of Ra, in the cone of 0.07 % for the new and 0.35 % for the used, in the stem 3.1 % for the new one and 0 % for the used; It is concluded that the through FFT processing reduces the noise in the data acquisition.

**Keywords:** Common rail; surface wear; roughness; fast fourier transform

## INTRODUCCIÓN

Uno de los principales problemas que experimentan los vehículos con CRDI, son las averías en el sistema de alimentación (pérdida de potencia, alto consumo de combustible, exceso de humos negros, etc.), causados por el desgaste o daños en las superficies de la aguja del inyector, originados por depósitos orgánicos e inorgánicos y procesos de cavitación [1-2](#).

El principal causante del desgaste en las agujas es la alta presión a la que funcionan los inyectores (15 a 200 MPa) [3](#), así como las altas temperaturas a la que están sometidas (superior a 500 °C); además, la norma INEN 1489 permite hasta el 0.05 % de azufre en la composición del diésel, este porcentaje es suficiente para que se acelere el desgaste en estas zonas de los inyectores [3-5](#).

Para tratar éste problema, se utiliza el instrumento denominado rugosímetro, donde el problema derivado de sus mediciones se centra en la generación de ruidos en la señal proporcionada, estos ruidos pueden ser provocados por la inadecuada manipulación del técnico, mal alineamiento del equipo y la pieza mecánica, presencia de polvo, campos electromagnéticos, entre otros; estos inconvenientes introducen errores en el diagnóstico de los elementos objeto de análisis.

La presente investigación tiene como objetivo: evaluar el desgaste superficial del cono y vástago de la aguja de la tobera del inyector de la marca Bosch de los sistemas CRDI, mediante la Transformada Rápida de Fourier, para filtrar el ruido introducido por el rugosímetro portátil SHBLST241 garantizándose las mediciones de rugosidades.

## ANÁLISIS TEÓRICO

### Parámetros del rugosímetro

Los datos de rugosidad se han tomado con el rugosímetro portátil SHBLST241, 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, como se presenta en la [Figura 1](#).

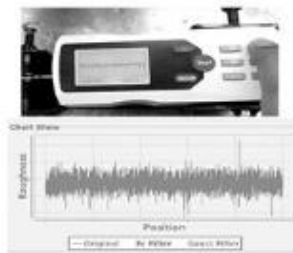


Figura 1 Conexión del rugosímetro al PC [5](#).

Además, entre sus características posee un software denominado Presurf Enterprise, el cual interactúa con la PC, vía cable USB o por medio de bluetooth; es una herramienta fundamental en 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), según calibración ISO 17025, su rango de parametrización es Ra (0.005  $\mu\text{m}$ .  $\sim$  16  $\mu\text{m}$ .), Rz (0.02  $\mu\text{m}$ .  $\sim$  160  $\mu\text{m}$ .) [\(6-7\)](#).

### 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 200 MPa, 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 [8](#).

Se emplea un pedestal en el cual se sostienen las toberas nuevas y usadas, para que el sensor palpador del rugosímetro realice el movimiento y tome 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 ya similares condiciones de uso. Se realiza un desarme del inyector y se realizan las mediciones como se puede observar en las [Figuras 2 y 3](#).



Figura 2 Medición del cono de la aguja (Bosch).



**Figura 3** Medición del vástago de la aguja (Bosch)**Cálculos de rugosidad**

La rugosidad está formada por surcos o marcas dejadas por los agentes que atacan la superficie en el proceso de mecanizado, los parámetros de medición de rugosidad se plantea según en la línea media "M". Entonces es conveniente realizar cálculos de rugosidad para corroborar las mediciones tomadas; para este caso se determina el parámetro de rugosidad media aritmética ( $R_a$ ) y la rugosidad media ( $R_z$ ) [9](#).

$R_a$ , media aritmética de los valores absolutos de los alejamientos del perfil desde la línea central, dado por la ecuación (1) y (2):

$$R_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i| \quad (1)$$

$$R_a = \frac{1}{Lm} \int_0^{Lm} |y| dx \quad (2)$$

Donde:  $n$  es el número de ordenadas consideradas;  $|y_i|$  es la ordenada de la señal;  $Lm$  es longitud de medición.

$R_z$ , según la norma ISO lo define como la diferencia entre los promedios de los cinco picos más altos y los valles más profundos dentro de la longitud de evaluación [10](#), medida en la dirección de la amplificación vertical dentro de la longitud ( $Lm$ ) de evaluación, dado por la ecuación (3):

$$R_z = \frac{\sum_{i=1}^5 y_{pi} - \sum_{i=1}^5 y_{vi}}{5} \quad (3)$$

Donde:

$y_{pi}$  = Picos más altos,

$y_{vi}$  = Profundidades más notables.

**Normalidad de la rugosidad de la aguja del inyector**

El análisis de normalidad permite determinar si una serie de datos sigue una función normal o no, lo cual define la aplicación de la estadística paramétrica o no paramétrica; para ello se realizan pruebas como la de Kolmogorov-Smirnov, además, permite evidenciar la presencia de valores críticos en la lectura de datos, los mismos que se podrían aducirse a la presencia de ruido en la adquisición de la señal o lectura de datos.

En las [Figuras 4](#) y [5](#) de normalidad Q-Q se ejemplifica, para analizar la diferencia entre la distribución de probabilidad de la muestra extraída y la distribución utilizada para la comparación. Se verifica que la prueba de Kolmogorov-Smirnov para el análisis del tiempo con respecto a la lectura de los datos, el valor de  $\mathcal{P}$  (Sig. Asíntót) es de 0.897 superior al 0.05, entonces para este caso se acepta la hipótesis nula que consiste en que la toma de los valores siguen una distribución normal [11-14](#).

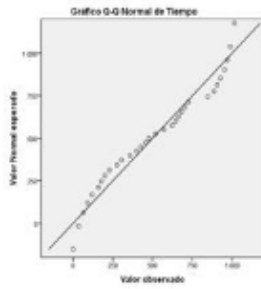


Figura 4 Análisis de normalidad del tiempo de muestreo.

Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra		
n		32
Parámetros normales <sup>a,b</sup>	Media	511,78
	Desviación típica	321,508
Diferencias más extremas	Absozta	,101
	Positiva	,092
	Negativa	-,101
Z de Kolmogorov-Smirnov		,574
Sig. asintót. (bilateral)		,897

a. La distribución de contraste es la Normal.  
b. Se han calculado a partir de los datos.

Figura 5 Prueba de normalidad del tiempo en la lectura de datos.

### Transformada rápida de Fourier

La expansión en Serie de Fourier en su forma compleja para una señal continua está dada por la ecuación (4) [\(15-16\)](#):

$$f(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} C_n e^{jn\omega_0 t} \quad (4)$$

Con la base de las ecuaciones (5) y (6):

$$\omega_0 = \frac{2\pi}{T} \quad (5)$$

$$C_n = \frac{1}{T} \int_{-\infty}^{\infty} f(t) e^{-jn\omega_0 t} dt \quad (6)$$

Donde la explicación de sus variables es la siguiente:

12/2/23, 10:24

Estudio de rugosidad por análisis de Fourier de las toberas de inyectores en sistemas riel común (CRDI)

$f(t)$  - Representa el modelamiento de la señal obtenida del rugosímetro

$\omega_0$  - Frecuencia angular inicial de la señal

$n$  - Número de elementos de la expansión

$T$  - Periodo de la señal

$C_n$  - Coeficiente de la serie de Fourier en su forma compleja

$n$  - Pi

$t$  - tiempo

$j$  - coordenada

La modelación de la señal es evaluada en términos de los datos proporcionados por el rugosímetro, para aplicar el análisis de la Transformada Rápida de Fourier a la señal adquirida por el rugosímetro, donde se determina el análisis de la rugosidad en términos del valor de sus ordenadas  $X$ . Además, se aplica las condiciones de Dirichlet para la convergencia de la expansión en serie de Fourier de la función, siendo ésta una función continua, y así converger la señal [17](#).

Para el análisis del ruido se aplica la Transformada Rápida de Fourier, que mediante la implementación de una interfaz gráfica se presenta el análisis para los picos más altos y los valles más profundos dentro de la longitud de evaluación, ya que se considera el ruido Gaussiano [18](#).

## RESULTADOS

### Análisis de la rugosidad

La rugosidad está formada por surcos o marcas dejadas por los agentes que atacan la superficie de la tobera del inyector donde se puede obtener a  $R_a$  (rugosidad media aritmética),  $R_q$  (rugosidad media cuadrática),  $R_t$  (profundidad total de la rugosidad),  $R_z$  (rugosidad media),  $R_p$  (cresta mayor del perfil),  $R_v$  (valle más profundo),  $R_m$  (rugosidad máxima), todos estos parámetros visualizados desde la [Figura 6](#) a la [Figura 9](#) para su respectivo análisis [9](#).



Figura 6 Rugosidad del cono de la aguja nueva de la tobera inyector marca BOSCH.

### Cálculo del parámetro $R_a$ (Cono de la aguja nueva de la tobera del inyector marca Bosch)

En la [Figura 6](#) se presenta la evaluación realizada por el rugosímetro en el cono de la aguja de tobera nueva. Según Groover, las válvulas giratorias de alta presión se establece con un valor de  $R_a = 0.06 \mu\text{m}$  [19](#), y para este análisis se considera además una longitud de medición,  $L_m = 1.2 \mu\text{m}$ .

Donde  $y$ , es la función resultante del perfil:

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

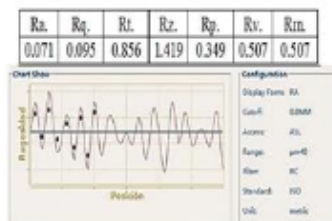
Entonces, el cálculo para  $Ra$  es:

$$Ra = \frac{1}{1.2} \int_0^{1.2} -\frac{x^2 - 2.4x + 0.79}{2.6} dx$$

Se obtiene un valor de  $Ra = 0.0653 \mu\text{m}$ , comparándose este valor con el evidenciado en la pantalla del rugosímetro visto en la [Figura 6](#) para  $Ra$ , muestra un error del 0.07 %.

#### Cálculo del parámetro Ra (Cono de la aguja usada de la tobera del inyector marca Bosch)

En la [Figura 7](#) se muestra la evaluación del rugosímetro en el cono de la aguja de tobera usada, además se considera una longitud de medición de  $Lm = 1.2 \mu\text{m}$ .



**Figura 7** Rugosidad del cono de la aguja usada de la tobera inyector marca BOSCH.

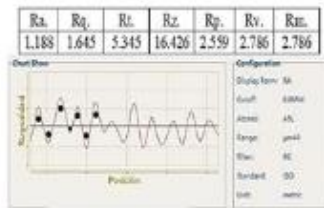
Reemplazo  $y$  que es la función del perfil del cono de la aguja de tobera usada en la ecuación (2), se tienea  $Ra$  como:

$$Ra = \frac{1}{1.2} \int_0^{1.2} -\frac{x^2 - 1.9x + 0.471}{2.8} dx$$

Por tanto:  $Ra = 0.0675 \mu\text{m}$ , este valor se confronta con la pantalla del rugosímetro obteniéndose un error del 0.35 %.

#### Cálculo del parámetro Ra (Vástago de la aguja nueva de la tobera del inyector marca Bosch)

En la [Figura 8](#), se presenta la evaluación realizada por el rugosímetro en el vástago de la aguja de la tobera del inyector nueva. Según Groover, las superficies mecanizadas, ejes oscilan entre un valores de  $Ra = 1$  y  $2 \mu\text{m}$  [\(19\)](#), se considera una longitud de medición de  $Lm = 1.2 \mu\text{m}$ , para su análisis.



**Figura 8** Rugosidad del vástago de la aguja de la tobera inyector nueva.

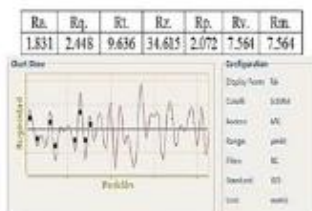
El cálculo de  $R\alpha$  se obtiene reemplazando  $\mathcal{Y}$  la función del perfil del vástago de la aguja de tobera nueva, en la ecuación (2):

$$R\alpha = \frac{1}{1.2} \int_0^{1.2} -\frac{x^2 - 3x + 0.3}{1.4} dx$$

Se obtiene un valor de:  $R\alpha = 1.157 \mu\text{m}$ , el mismo que se compara con la evidenciada en la pantalla del rugosímetro de la [Figura 8](#), presentándose un error del 3.1 %.

#### **Cálculo del parámetro Ra (Vástago de la aguja usada de la tobera del inyector marca Bosch).**

En la [Figura 9](#) se muestra la evaluación por el rugosímetro en todos sus parámetros. Donde  $\mathcal{Y}$  es la función del perfil en el vástago de la aguja de la tobera del inyector usada:



**Figura 9** Rugosidad del vástago de la aguja de la tobera del inyector usada.

El cálculo de Ra:

$$R\alpha = \frac{1}{1.2} \int_0^{1.2} -\frac{x^2 - 6.21x + 0.5}{1.5} dx$$

Se obtuvo un valor de:  $R\alpha = 1.831 \mu\text{m}$ , El mismo que evaluado con el valor de la pantalla del rugosímetro, presenta un error del 0 %. El procedimiento asumido en el estudio permitió evaluar las variables de rugosidades, por GAO [17](#).

#### **Análisis de normalidad de la rugosidad del cono de la aguja usada del inyector**

12/2/23, 10:24

Estudio de rugosidad por análisis de Fourier de las toberas de inyectores en sistemas riel común (CRDI)

La prueba de Kolmogorov-Smirnov para el análisis del parámetro  $R_a$ , determina el valor de  $\mathcal{P}$  (Sig. Asintót) es de 0.018 inferior al 0.05, entonces se rechaza la hipótesis nula que consiste en que la toma de los valores sigue una distribución normal. Esto visto en la [Figura 10](#) y [11](#), bajo el criterio de normalidad.

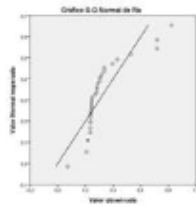


Figura 10 Normalidad del parámetro  $R_a$ .

Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra		$R_a$
N		32
Parámetros normales <sup>a,b</sup>	Media	.31967638
	Desviación típica	.161791714
Diferencias más extremas	Absoluta	.271
	Positiva	.271
	Negativa	-.215
Z de Kolmogorov-Smirnov		1.633
Sig. asintót. (bilateral)		.018

a. La distribución de contraste es la Normal.  
b. Se han calculado a partir de los datos.

Figura 11 Prueba de normalidad del parámetro  $R_a$ .

La prueba de Kolmogorov-Smirnov para el análisis del parámetro  $R_z$  determina el valor de  $\mathcal{P}$  (Sig. Asintót) es de 0.028 inferior al 0.05, entonces los valores observados no están sobre la recta esperada bajo el supuesto de normalidad de los datos obtenidos por el rugosímetro. Esto se muestra en la [Figura 12](#) y [13](#), bajo el criterio de normalidad. No responde a una distribución normal lo cual fundamenta otra distribución que puede ser exponencial, Poisson, entre otras.

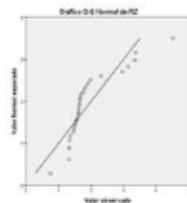


Figura 12 Normalidad del parámetro  $R_z$ .



		Rz
N		31
Parámetros normales <sup>a,b</sup>	Media	1,88276085
	Desviación típica	,762085205
Diferencias más extremas	Positiva	,262
	Negativa	-,202
Z de Kolmogorov-Smirnov		1,480
Sig. asintótica (bilateral)		,029

a. La distribución de contraste es la Normal.  
b. Se han calculado a partir de los datos.

Figura 13 Prueba de normalidad del parámetro Rz.

### Análisis de transformada rápida de fourier en el cono de la aguja usada del inyector

Se considera los datos obtenidos por el rugosímetro como una sucesión de números, los mismos que son considerados como una combinación lineal en términos de funciones trigonométricas o exponenciales, es decir; se obtiene una expansión en serie de Fourier de los elementos de la sucesión donde sus coeficientes proporcionan la amplitud de las funciones sinusoidales, basados en la convergencia absoluta uniforme de la serie, de forma análoga al trabajo realizado por SCHMITT [18](#).

Expansión en Serie de Fourier aplicada

$$f(x) = \frac{1}{2}a_0 + \sum_{k=1}^{\infty} a_k \cos\left(\frac{n\pi}{p}x\right) + \sum_{k=1}^{\infty} b_k \sin\left(\frac{n\pi}{p}x\right)$$

$$a_0 = \frac{1}{1.2} \int_0^{1.2} \frac{-x^2 - 1.9x + 0.471}{2.8} dx$$

$$a_k = \frac{1}{1.2} \int_0^{1.2} \frac{-x^2 - 1.9x + 0.471}{2.8} \cos\left(\frac{n\pi}{1.2}x\right) dx$$

$$b_k = \frac{1}{1.2} \int_0^{1.2} \frac{-x^2 - 1.9x + 0.471}{2.8} \sin\left(\frac{n\pi}{1.2}x\right) dx$$

En la [Figura 14](#), se representa el análisis de convergencia de los coeficientes  $a_k$  y  $b_k$  de la expansión en Serie de Fourier en su forma trigonométrica, de lo cual se puede evidenciar su convergencia al valor de cero.

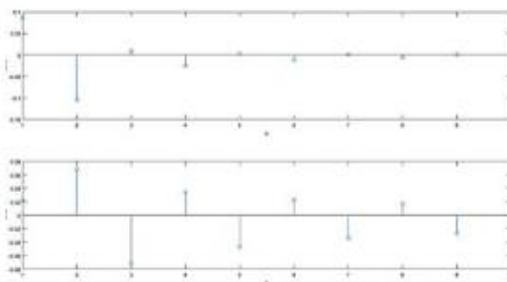


Figura 14 Análisis de Fourier a las ordenadas de la señal.

La modelación de la señal es a partir de sus ordenadas  $\mathcal{X}_i$ , además, se considera la longitud del estudio de la señal, que se presenta en la [Figura 15](#), donde se muestra la señal original y la expansión en serie de

12/2/23, 10:24

Estudio de rugosidad por análisis de Fourier de las toberas de inyectores en sistemas riel común (CRDI)

Transformada Rápida de Fourier, que se plantea mediante la elaboración de una Interfaz gráfica que representa el análisis para los picos más altos y los valles más profundos dentro de la longitud de evaluación, ya que se considera para su análisis el ruido Gaussiano, que se muestra en la [Figura 16](#).

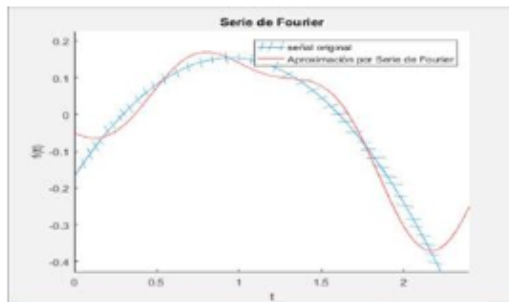


Figura 15 Aproximación de la señal por Serie de Fourier.

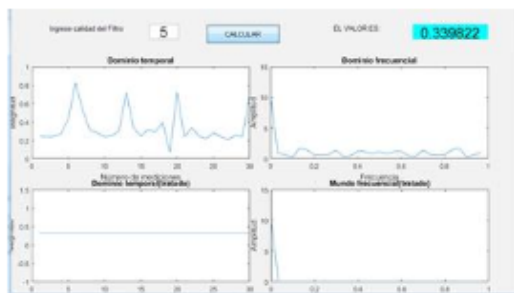


Figura 16 Análisis del ruido en la señal.

También, se observa que la generación del ruido en el análisis de la superficie de la pieza mecánica es filtrada para tener una mejor lectura de la señal.

En la [Figura 15](#) se representa la modelación matemática de la señal original mostrada de forma continua y el análisis de Fourier implementado a los datos obtenidos por parte del rugosímetro (mostrado de forma ondulada), pudiendo evidenciar una convergencia de la serie de Fourier al modelo formulado; la representación gráfica en los extremos obedece al fenómeno Gibbs.

Se presenta en la [Figura 16](#), el dominio temporal y dominio frecuencial, se tiene la representación en dominio de tiempo y dominio de frecuencia de los datos obtenidos mediante el rugosímetro; en las gráficas de dominio temporal (tratado) y mundo frecuencial (tratado) se tiene la representación del tratamiento de los datos mediante el análisis de Fourier aplicando filtro de tratamiento, donde el resultado del tratamiento de la señal en dominio de tiempo (señal filtrada) que es de 0.3398, el mismo que se puede evidencia en la figura. En tanto que en dominio de frecuencia la señal filtrada converge hacia cero.

### Evaluación de las metodologías aplicadas en la tobera del inyector

La [Tabla 1](#) muestra el análisis comparativo de la rugosidad de la tobera del inyector Bosch, obtenida por el rugosímetro y por el modelo matemático, existiendo un error bajo entre ambas, posibilitando la validación de los datos obtenidos.

**Tabla 1** Aproximación de los datos del rugosímetro y modelo matemático.

Parte de la tobera	Característica	Análisis de comparación entre los datos del rugosímetro SHBLST241 y el modelo matemático (%)
Ra, cono	Nuevo	0.07
	Usado	0.35
Ra, vástago	Nuevo	3.1
	Usado	0

### Aplicación de la transformada rápida de Fourier

Debido a las distancias irregulares entre los picos, la forma irregular en los picos, la presencia de componentes de baja frecuencia en la señal; se eliminaron las frecuencias bajas por medio de FFT (Fast-Fourier-Transform) en una primera etapa.

En la segunda etapa, se usa un filtro pasa banda, el cual localiza los máximos significativos en la señal.

En la etapa final, se eliminan los datos más alejados del promedio. Este proceso permite la detección de los picos  $\lambda$ .

Se implementa una expansión en Serie de Fourier a la función implementada para analizar su convergencia hacia la función, posteriormente a los datos entregado por el rugosímetro se aplica el estudio de la serie discreta de Fourier implementado un filtro paso-bajo para la eliminación o atenuación de las altas frecuencias de la lectura de los datos, coincidiendo con los resultados obtenidos por TIEN [15](#).

### CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en el estudio de la rugosidad del cono y vástago de la aguja del inyector Bosch de los sistemas CRDI nuevo y usados, por medio del rugosímetro y cálculo analítico arrojan valores similares con bajo porcentaje de diferencia, permitiendo de este modo validar los datos obtenidos.

El análisis de normalidad de los datos obtenidos de rugosidad en la aguja del inyector para el parámetro Ra y Rz, mediante la prueba de Kolmogorov- Smirnov, muestran que dichos valores no siguen una distribución normal por ser el valor p (Sig. Asintót) inferior al 0.05, motivado por el ruido introducido por el rugosímetro. Para tratar este inconveniente se implementa la Transformada Rápida de Fourier que en su algoritmo tiene implementados filtros para los datos anómalos.

El Algoritmo de la Transformada Rápida de Fourier permite obtener una función en el dominio de frecuencia a partir de otra función que está en dominio del tiempo, la misma, aplicada a la función del cálculo de la rugosidad, es un método que permite mejorar la precisión en los datos obtenidos al disminuir los ruidos producidos por el rugosímetro.

### AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren agradecer al Laboratorio de Motores de Combustión de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE extensión Latacunga -Ecuador por permitir la utilización del rugosímetro portátil SHBLST241.

### REFERENCIAS

[1] C. Trobaugh, et al. "Internal Diesel Injector Deposits: Theory and Investigations into Organic and Inorganic Based Deposits". SAE International Journal of Fuels and Lubricants. Vol. 6 N° 2013-01-2670, pp. 772-784. 2013. [ [Links](#) ]

[2] H.E. Zhixia, et al. "Experimental and numerical on microbial adhesion and corrosion resistance". International Biodeterioration & Biodegradation. Vol. 52 N° 3, pp. 175-185. 2003. [ [Links](#) ]

- [3] B.T. Martínez. "Diagnóstico de motores diesel mediante el análisis del aceite usado". Reverté. 2005. [ [Links](#) ]
- [4] M. Zheng, T. Li y X. Han. "Direct injection of neat n-butanol for enabling clean low temperature combustion in a modern diesel engine". Fuel. Vol. 142, pp. 28-37. 2015. [ [Links](#) ]
- [5] INEN. Norma Técnica Ecuatoriana. Productos derivados del petróleo. Diesel. Requisitos. Instituto Ecuatoriano de Normatización. NTE INEN. Vol. 1489. 2001. [ [Links](#) ]
- [6] J.E. Márquez y J.E. Briceño. "Principios de las Comunicaciones". Mérida, Venezuela: ULA Ingeniería. 2005. [ [Links](#) ]
- [7] Digital measurement metrology Inc., Process Instruments, pp. 1. 28/03/2017. 31/03/2017. URL: URL: <http://www.processinstruments.ca/store/surface-gauges-and-testers/portable-surface-roughness-tester.htm> [ [Links](#) ]
- [8] Z. Zhimin, et al. "Influences of various cutting parameters on the surface roughness during turnings stainless steel". Acoustical Physics. Vol. 57 N° 1, pp. 114-120. 2011. [ [Links](#) ]
- [9] L.R. Hilbert, et al. "Influence of surface roughness of stainless steel on microbial adhesion and corrosion resistance". International Biodeterioration & Biodegradation. Vol. 52 N° 3, pp. 175- 185. 2003. [ [Links](#) ]
- [10] ISO, E. N. 1302. Geometrical Product Specifications, 2002. URL: [http://www.edu.xunta.gal/centros/cfrcoruna/aulavirtual2/file.php/186/Calidad\\_Superficial.pdf](http://www.edu.xunta.gal/centros/cfrcoruna/aulavirtual2/file.php/186/Calidad_Superficial.pdf) [ [Links](#) ]
- [11] M. Bethencourt, et al. "Aplicación del análisis de Fourier al estudio de perfiles de rugosidad de muestras erosionadas". Revista de Metalurgia. Vol. 34 Número Extra, pp. 7-11. 1998. [ [Links](#) ]
- [12] J.C. Alonso, S. Montenegro. "Estudio de Monte Carlo para comparar 8 pruebas de normalidad sobre residuos de mínimos cuadrados ordinarios en presencia de procesos autorregresivos de primer orden". Estudios Gerenciales. Vol. 31 N° 136, pp. 253-265. 2015. [ [Links](#) ]
- [13] N.M. Razali, et al. "Power comparisons of shapiro-wilk, kolmogorov-smirnov, lilliefors and anderson-darling tests". Journal of statistical modeling and analytics. Vol. 2 N° 1, pp. 21-33. 2011. [ [Links](#) ]
- [14] A. Justel, D. Peña, R. Zamar. "A multivariate Kolmogorov-Smirnov test of goodness of fit". Statistics & Probability Letters. Vol. 35 N° 3, pp. 251-259. 1997. [ [Links](#) ]
- [15] Chuen-Lin Tien, Huel-Min Yang, Ming- Chung Liu. "The measurement of surface roughness of optical thin films based on fast Fourier transform". Thin Solid Films. Vol. 517 N° 17, pp. 5110-5115. 2009. [ [Links](#) ]
- [16] D.C. Montgomery. "Design and analysis of experiments". John Wiley & Sons. 2017. [ [Links](#) ]
- [17] Y. Gao, et al. "Experimental study of the effects of surface roughness on the vortex-induced vibration response of a flexible cylinder". Ocean Engineering. Vol. 103, pp. 40-54. 2015. [ [Links](#) ]
- [18] E. Schmitt, P. Idowu, A. Morales. "Applications of wavelets in induction machine fault detection/aplicaciones de wavelets en la detección de fallas de máquinas de Inducción". Ingeniare: Revista Chilena de Ingeniería. Vol. 18 N° 2, pp. 158. 2010. [ [Links](#) ]
- [19] M.P. Groover. "Fundamentos de manufactura moderna: materiales, procesos y sistemas". Pearson Educación. 1997. [ [Links](#) ]

Recibido: 25 de Abril de 2017; Aprobado: 06 de Noviembre de 2017

\*Autor por Correspondencia. [carlos.rocha@uisek.edu.ec](mailto:carlos.rocha@uisek.edu.ec)



Este es un artículo publicado en acceso abierto bajo una licencia Creative Commons

**18 de septiembre # 2222**

**Casilla 6-D**

**Arica - Chile**

**Teléfono: (56-58) 2205650**

**Código Postal Arica 1000000**

**FonoFax : (56-58) 205650**