



ING. AUTOMOTRIZ

Trabajo integración Curricular previa a la obtención del título de Ingeniería en Mecánica Automotriz

AUTORES:

Anderson Alexis Nepas

Chuquisan

Joe Nicolas Gaspar Catota

TUTOR:

Ing. Pablo Ante

Análisis comparativo de la opacidad en función del retorno de combustible
en inyectores CRDI bajo condiciones controladas de carga y descarga.

QUITO – ECUADOR | 2025

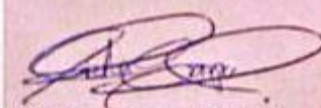
CERTIFICACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros, **Nepas Chuquisan Anderson Alexis y Gaspar Catota Joe Nicolas** 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.

Cedemos nuestros 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.



Anderson Alexis Nepas Chuquisan
C.I: 1725023764



Joe Nicolas Gaspar Catota
C.I: 1725023178

APROBACIÓN DEL TUTOR

Yo, Ante Sánchez Pablo Fernando, certifico que conozco a los autores del presente trabajo, siendo el responsable exclusivo tanto de su originalidad y autenticidad, como de su contenido.

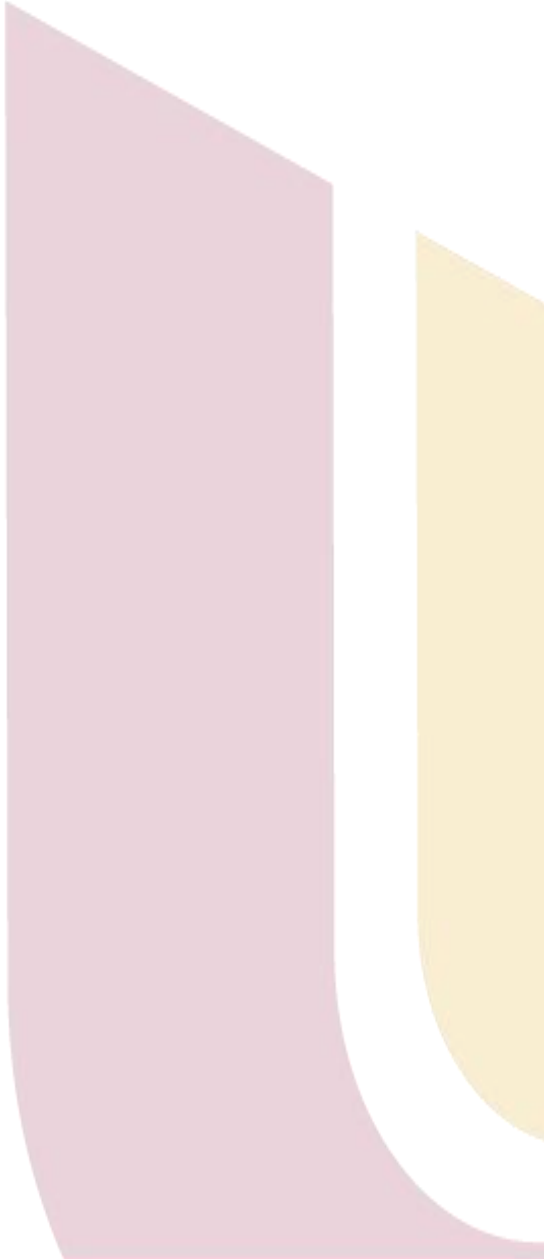


Director de tesis

DEDICATORIA

Este presente trabajo de titulación está dedicado a mi familia que me han apoyado a lo largo de mis estudios impulsándome a seguir a culminar mis estudios, a mi hija quien es el motor de mi día a día es la principal razón de seguir adelante, quienes me han apoyado en todo momento y me han incentivado a pesar de cualquier tropiezo.

Joe Nicolas Gaspar Catota



AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por darme salud, vida y bienestar para poder alcanzar mis objetivos conforme a su tiempo, agradezco a mis padres por formarme como persona, agradezco a cada una de las personas quien conocí en este proceso de formación académica, a mis profesores quienes nos brindaron su conocimiento para forjarnos como ingenieros correctos.

Agradezco a nuestro tutor quien fue nuestra guía para poder realizar este proyecto de titulación.

Joe Nicolas Gaspar Catota

DEDICATORIA

Dedico este trabajo. A mi padre, José Nepas, quien además de ser un gran padre fue también mi maestro. De él aprendí mucho, y gracias a su ejemplo y enseñanzas soy la persona que soy hoy.

A mi hermosa madre, Teresa, quien, a pesar de sus reclamos y correcciones, siempre ha estado a mi lado y continúa apoyándome incondicionalmente hasta el día de hoy.

A mi hija, Raquel Nepas, quien es el motor que me impulsa a seguir adelante cada día. Su existencia le da sentido y fuerza a todos mis esfuerzos.

Y a mi hermana, Evelyn Nepas, una persona muy importante en mi vida. A pesar de nuestras diferencias, seguimos luchando juntos día a día, con amor y perseverancia.

Anderson Alexis Nepas Chuquisan

AGRADECIMIENTO

Agradezco, en primer lugar, a Dios, por darme la vida, la salud y la fortaleza para continuar en este camino lleno de desafíos y aprendizajes.

Expreso mi más sincero agradecimiento a la Universidad Internacional del Ecuador por brindarme la oportunidad de cursar mis estudios superiores y permitirme alcanzar este título tan importante en mi vida.

Agradezco especialmente al ingeniero Pablo Ante, tutor de esta tesis, por su paciencia, compromiso y valiosa guía durante todo el proceso. Su apoyo fue fundamental para lograr nuestros objetivos.

A mi familia, por su amor incondicional y constante apoyo hacia mi persona. Gracias por estar siempre a mi lado, en cada paso y cada esfuerzo, brindándome la fuerza necesaria para seguir adelante.

Anderson Alexis Nepas Chuquisan

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIÓN DE AUTORÍA	2
APROBACIÓN DEL TUTOR.....	3
DEDICATORIA	4
AGRADECIMIENTO	5
Resumen	10
Abstract	10
Introducción	11
Marco Teórico	12
Principio de Funcionamiento del Motor Diésel	12
Sistema de Inyección Electrónica e Inyectores Inductivos	12
Partes Principales del Inyector Inductivo	12
Sistema Common Rail	13
Norma NTE INEN 2202	14
Opacidad de los Gases de Escape	16
Materiales y Métodos	19
Métodos	19
Materiales	20
Resultados	22
1. Inyectores nuevos	22
2. Inyectores usados (sin mantenimiento ni calibración)	23
3. Inyectores usados con calibración específica	24
Conclusiones	28
Bibliografía	29
Anexos	30
Anexos materiales y métodos	30
Anexos resultados y discusión	32

Índice de tablas

Tabla 1	<i>Nombre y número de partes del inyector</i>	18
Tabla 2	<i>Nombre y número de partes del inyector</i>	18
Tabla 3	<i>Despiece de Cuerpo de Inyector y Conexiones de Alta Presión</i>	19
Tabla 4	<i>Informe de Opacidad – Diagnóstico de Emisiones Diesel</i>	23
Tabla 5	<i>Informe de Opacidad con Alto Nivel de Emisiones – Rechazo Tipo 3</i>	24
Tabla 6	<i>Informe de Opacidad – Resultado Aprobado sin Faltas</i>	25
Tabla 7	<i>Comparativa de Calibraciones del Inyector Bosch 0445110250</i>	26

Índice de figura

Figura 1	<i>Esquema Interno de un Inyector Common Rail</i>	13
Figura 2	<i>Inyector Diesel Common Rail – Vista Lateral</i>	14
Figura 3	<i>Inyector Diesel Common Rail – Vista Superior del Conector</i>	14
Figura 4	<i>Despiece del Inyector Common Rail – Componentes Internos</i>	17
Figura 5	<i>Despiece del Inyector Common Rail – Componentes Internos</i>	17
Figura 6	<i>Banco de Pruebas para Inyectores – BOSCH EPS 205</i>	20
Figura 7	<i>Analizador de gases Automotrices – BrainBee Workshop Solutions</i>	21
Figura 8	<i>Kit Medidor de Retorno de Inyectores Diesel Common Rail</i>	22
Figura 9	<i>Mazda BT-50 año 2016</i>	22
Figura 10	<i>Volumen de Retorno según Condición del Inyector</i>	26
Figura 11	<i>Porcentaje de Opacidad según Condición del Inyector</i>	27

Análisis comparativo de la opacidad en función del retorno de combustible en inyectores CRDI bajo condiciones controladas de carga y descarga

Anderson Alexis Nepas Chuquisan, Joe Nicolas Gaspar Catota

annepaschi@uide.edu.ec jogasparca@uide.edu.ec

Resumen

En el Distrito Metropolitano de Quito, a partir del 2022 el crecimiento poblacional y vehicular incrementó los niveles de contaminación ascendieron un 10% según la página de periodismo con rigor Ecuador chequea, especialmente en zonas estratégicas como Carcelén Industrial. Las emisiones generadas por vehículos diésel representan una fuente importante de (PM) y gases contaminantes, afectando la calidad del aire y la salud pública. Esta investigación tiene como objetivo realizar un análisis comparativo de la opacidad en función del retorno volumétrica en inyectores inductivos, bajo la normativa vigente de control NTE INEN 2202. **Metodología:** Mediante la metodología experimental deductiva se ejecutó mediciones de opacidad en vehículos con inyectores inductivos mediante la regulación de los parámetros de retorno. **Resultados:** Se evidenció en la primera prueba obtuvimos como resultado una medición de 55.4% de PM a 4000 RPM siendo un valor elevado en comparación con el límite de opacidad que es 29.99% en DMQ, en la segunda prueba dio como resultado 80.2% de PM a 4000 RPM lo que es un porcentaje alto por el desgaste del inyector, la tercera prueba se obtuvo un 18.2% de PM a 400rpm lo cual sería lo ideal. **Conclusión:** Una calibración adecuada del retorno en inyectores inductivos puede reducir los niveles de opacidad, mejorando el desempeño ambiental del motor. Estos hallazgos ofrecen una base técnica que puede contribuir a optimizar las evaluaciones en los centros de revisión vehicular y apoyar la formulación de políticas públicas para el control en zonas urbanas de alta circulación.

Palabras clave: inyectores inductivos, opacidad, retorno de combustible, emisiones contaminantes

Abstract

In the Metropolitan District of Quito, from 2022 onwards, population and vehicle growth increased pollution levels by 10% according to the journalism website Ecuador chequea, especially in strategic areas such as Carcelén Industrial. Emissions generated by diesel vehicles represent an important source of (PM) and polluting gases, affecting air quality and public health. The objective of this research is to perform a comparative analysis of opacity as a function of volumetric return in inductive injectors, under the current control standard NTE INEN 2202. **Methodology:** Using the deductive experimental methodology, opacity measurements were taken in vehicles with inductive injectors by regulating the return parameters. **Results:** In the first test we obtained as a result a measurement of 55.4% of PM at 4000 RPM being a high value compared to the opacity limit which is 29.99% in DMQ, in the second test resulted in 80.2% of PM at 4000 RPM which is a high percentage due to the wear of the injector, the third test resulted in 18.2% of PM at 400rpm which would be ideal. **Conclusion:** A proper calibration of the return in inductive injectors can reduce opacity levels, improving the environmental performance of the engine. These findings provide a technical basis that can contribute to optimize evaluations at vehicle inspection centers and support the formulation of public policies for control in high traffic urban areas

.Keywords: inductive injectors, opacity, fuel return, pollutant emissions

Introducción

En el contexto actual de crecimiento urbano y aumento de la población en el Distrito Metropolitano de Quito, la cantidad de sustancias contaminantes en el aire han alcanzado cifras preocupantes, en especial en lugares con mucho tránsito de autos. Las emisiones de los vehículos diésel se han transformado en una causa importante de material particulado y gases contaminantes, afectando de manera directa la calidad del aire y la salud de la población. En este escenario, se torna fundamental investigar y comprender las variables que inciden en la emisión de gases contaminantes, para poder desarrollar estrategias que mitigan su impacto ambiental.

En particular, la opacidad de los gases de escape se ha consolidado como un indicador clave de la presencia de material particulado en los motores diésel. Sin embargo, aún existen limitados estudios que aborden cómo componentes específicos del sistema de inyección, como los inyectores inductivos, pueden influir en las emisiones y en la eficiencia de combustión. La configuración del retorno de combustible en estos inyectores podría tener un papel crucial en la optimización del rendimiento del motor y la reducción de contaminantes.

El objetivo del presente trabajo es realizar un análisis comparativo de los niveles de opacidad en motores diésel equipados con inyectores inductivos, evaluando cómo la configuración del retorno de combustible afecta las emisiones contaminantes y la eficiencia de combustión en condiciones controladas de carga y descarga. Se busca determinar si ajustes adecuados en la calibración del retorno pueden mejorar la combustión y disminuir los niveles de opacidad, contribuyendo así a una mejor calidad del aire.

Para abordar este objetivo, se plantea una metodología que incluye pruebas de laboratorio en vehículos diésel equipados con inyectores inductivos. Durante estas pruebas, se modificará el sistema de retorno de combustible en diversas configuraciones, y se medirán los niveles de opacidad bajo distintas condiciones de carga y descarga. A través del análisis de los resultados obtenidos, se pretende identificar las configuraciones de retorno más eficaces para reducir la opacidad y mejorar el desempeño ambiental de los motores diésel.

Según Alcocer (2024) el análisis del circuito de retorno representa una herramienta clave para optimizar la detección de irregularidades en la dosificación de

combustible, lo que favorece el rendimiento operativo de los motores CRD-i.

Los motores diésel destacan por su eficiencia energética, bajo consumo de combustible y reducida emisión de contaminantes. A diferencia de los modelos antiguos, caracterizados por ser ruidosos y emitir gran cantidad de humo, los motores diésel modernos ofrecen múltiples beneficios: son más silenciosos, eficientes, menos contaminantes, con mejor respuesta y mayor seguridad (Guerra, 2020).

Marco Teórico

Principio de Funcionamiento del Motor Diésel

El motor diésel corresponde a una clase de motor de combustión interna que funciona a partir del proceso de encendido por compresión del aire en la cámara. A diferencia del motor de gasolina, no requiere chispa para encender el combustible. En cambio, el aire es comprimido hasta alcanzar temperaturas elevadas, y luego se inyecta el diésel, que se enciende espontáneamente. Este proceso permite un alto rendimiento térmico, pero también requiere una inyección de combustible precisa para evitar emisiones contaminantes.

Uno de los componentes clave en este proceso es el sistema de inyección, encargado de controlar la cantidad, presión y momento exacto de la inyección de diésel. La eficiencia de combustión depende, en gran medida, de estos factores.

Sistema de Inyección Electrónica e Inyectores Inductivos

Los **inyectores inductivos** son componentes electromecánicos utilizados en los sistemas de inyección diésel de tipo Common Rail. Su funcionamiento se basa en la generación de un campo magnético mediante una bobina (solenoides), que acciona una aguja o válvula para permitir la entrada del combustible a la cámara de combustión.

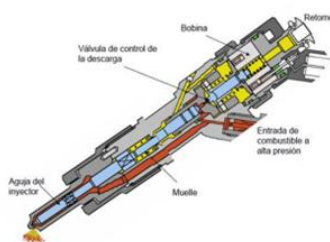
Partes Principales del Inyector Inductivo

1. **Solenoides o bobina de activación:** Elemento electromagnético que genera un campo magnético al recibir una señal eléctrica desde la ECU (unidad de control electrónico).
2. **Aguja o émbolo:** Se desplaza verticalmente dentro del inyector, abriendo o cerrando el paso del combustible hacia la tobera.

3. **Tobera:** Es la punta del inyector por donde el combustible es finalmente pulverizado. Su diseño influye directamente en la atomización.
4. **Muelle de retorno:** Asegura que la aguja vuelva a su posición original cuando cesa la señal eléctrica.
5. **Cuerpo del inyector:** Contiene todos los componentes y permite su acoplamiento al riel común.
6. **Conector eléctrico:** Permite la comunicación con la ECU, encargada de sincronizar la apertura del inyector con las fases del motor.
7. **Canal de retorno:** Conduce el combustible excedente hacia el sistema de retorno, regulando la presión interna del inyector.
8. **Arandelas de calibración:** Se encarga de regular el flujo y mantener una correcta presión de combustible.

Figura 1

Esquema Interno de un Inyector Common Rail



Fuente: (Monografías, 2015)

Una modificación en el caudal o presión del retorno puede alterar significativamente el comportamiento del inyector. Según el estudio de Alcocer (2024), una calibración inadecuada del retorno puede generar una variación de presión en el riel común, afectando negativamente los tiempos de apertura del inyector y favoreciendo la generación de material particulado.

Sistema Common Rail

El sistema common rail se desarrolló a lo largo de mucho tiempo en donde no se preocupaban tanto por las emisiones que los vehículos diésel producían, estos vehículos emitían mayores emisiones por el hecho de que no se realizaba una buena inyección de combustible por su baja presión por ende en la pulverización se producían gotas de

diésel a diferencia del diésel pulverizado por lo cual se obtenía mayor hollín y consumía más combustible. Se lo denomina common rail refiriéndose a un conducto común en el sistema de inyección con misma longitud y diámetro (Race, 2023).

Este sistema proporciona una alta eficiencia gracias a su adaptación de combustible dentro del cilindro, esto es debido a las altas presiones de inyección que superan los 2.000bares o 200Mpa (mega pascales) de la mano de adaptación a condiciones diferentes de trabajo. El funcionamiento óptimo de este sistema de inyección common rail garantiza el funcionamiento correcto de los inyectores (Autonorma, 2022).

Figura 2 *Injector Diesel Common Rail – Vista Lateral*



Fuente: (Autores, 2025)

El inyector que se utilizó para realizar estas pruebas fue el inyector de la Mazda BT 50 con código 0445110250, este código lo ubicamos en la parte superior de la bobina donde consta de diez dígitos del número de parte, también cuenta con un código QR o IMA según su fabricante en este caso tenemos el código QR, número de serie, estos inyectores common rail son de marca BOSCH.

Figura 3

Injector Diesel Common Rail – Vista Superior del Conector



Fuente: (Autores, 2025)

Norma NTE INEN 2202

En el Ecuador se rige la norma NTE INEN 2202 para la medición de

opacidad de emisiones de gases de escape a motores diésel, estableciendo un método de ensayo para así calcular el porcentaje de opacidad mediante pruebas estáticas y aceleración libre.

La medición de estos gases tiene como fin evaluar la cantidad de partículas sólidas que están presentes en los gases de escape de los motores diésel, este es indicador de contaminación por particulado (PM) (Opentech, 2020).

Condiciones del inyector

El inyector diésel es un componente clave en la entrega precisa del combustible en los motores de combustión interna. Las condiciones del inyector pueden variar debido al desgaste a alta temperatura y uso prolongado, la presencia de impurezas en el combustible, o fallas internas como obturación parcial o mal sellado. Estas condiciones afectan directamente el patrón de pulverización y la cantidad de retorno de combustible, lo cual puede influir en la eficiencia de la combustión y en los niveles de emisiones contaminantes, como la opacidad (Delgado, Romero, & Cabrera, 2016).

En este estudio se analizan inyectores en distintas condiciones operativas: nuevos, con desgaste leve y con desgaste considerable. Estas diferencias permiten observar cómo varía el comportamiento de retorno y las emisiones bajo cargas controladas (Torres & Vargas, 2015).

Retorno del inyector

El retorno del inyector se refiere a la cantidad de combustible que no es inyectada en la cámara de combustión y que retorna al sistema a través de una línea secundaria. Este parámetro es importante, ya que un aumento del retorno puede indicar desgaste en el sistema interno del inyector, como en la válvula de control o los asientos de sellado (Reyes & Molina, 2017).

El retorno influye en el volumen real de inyección, la presión interna del sistema y, por ende, en la calidad de la pulverización del combustible. Si la pulverización se ve afectada, también lo hace la combustión, lo que puede resultar en un aumento de la opacidad en los gases de escape (Delgado, Romero, & Cabrera, 2016).

Calibración mediante arandela de espesor

Los inyectores diésel, especialmente los mecánicos, permiten una calibración de la presión de apertura mediante el uso de arandelas de diferente espesor. Cambiar el

espesor de la arandela modifica la precarga del resorte interno del inyector, alterando así la presión mínima necesaria para que se abra la boquilla y se inicie la inyección (Torres & Vargas, 2015).

Una calibración adecuada garantiza una pulverización eficiente. Si la presión de apertura es demasiado baja o alta debido a una calibración inadecuada, se compromete el rendimiento del inyector y se pueden generar mayores niveles de opacidad en los gases de escape debido a una combustión incompleta (Reyes & Molina, 2017).

La condición del inyector afecta el retorno del combustible: un inyector desgastado tiende a permitir más retorno (Delgado, Romero, & Cabrera, 2016). A su vez, un alto retorno disminuye la presión y el volumen efectivo de inyección, lo cual afecta la calidad de la combustión (Reyes & Molina, 2017).

La calibración con arandela permite ajustar la presión de apertura, lo que puede compensar parcialmente los efectos del desgaste, pero también puede alterarse si no se realiza correctamente, empeorando la eficiencia de inyección y aumentando la opacidad (Torres & Vargas, 2015). En conjunto, estos tres factores determinan cómo el inyector entrega el combustible, cómo se desarrolla la combustión y, finalmente, el nivel de emisión de opacidad que se registra.

Opacidad de los Gases de Escape

La opacidad de los gases de escape es un parámetro que mide la reducción de la transmisión de luz a través de los gases expulsados por el motor, lo cual está directamente relacionado con la cantidad de partículas en suspensión. Se mide generalmente en pruebas de aceleración libre con equipos denominados **opacímetros**, que proyectan un haz de luz en una cámara por donde pasan los gases del escape.

Una alta opacidad suele ser indicativa de combustión deficiente, inyección tardía, mezcla rica o mal funcionamiento del sistema de inyección. Por esta razón, la opacidad es un indicador confiable del estado del motor y su impacto ambiental.

Relación entre el Retorno del Inyector y la Opacidad

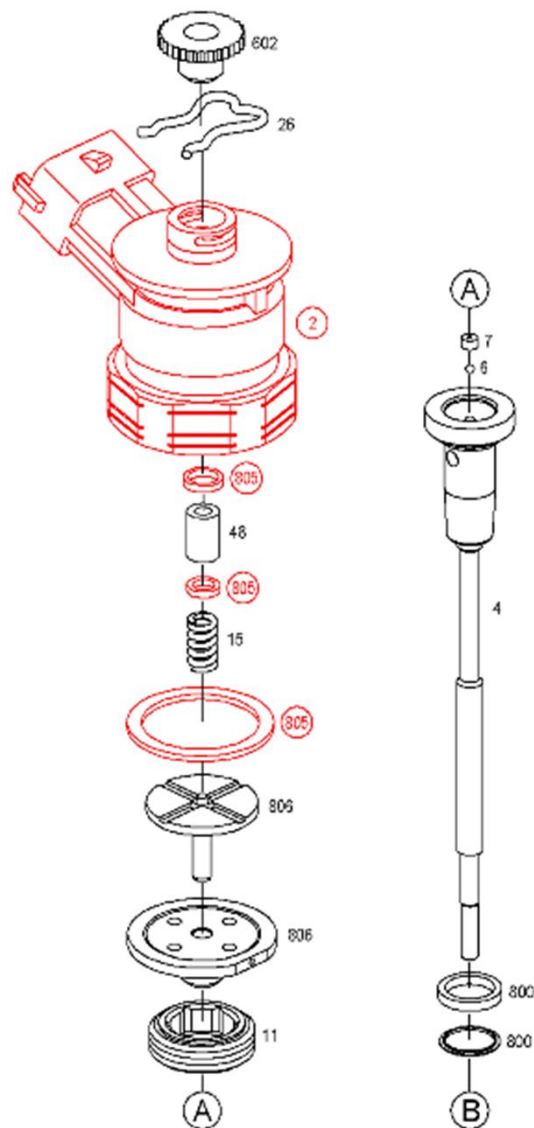
Diversas investigaciones han demostrado la relación entre el comportamiento del sistema de inyección y los niveles de opacidad. En particular, **Guerra, Loachamin y Gómez (2020)** encontraron que variaciones en el sistema de retorno afectan la presión del riel común y, con ello, los tiempos y patrones de inyección. Esto repercute

directamente en la formación de hollín y partículas sólidas.

En condiciones de carga y descarga, el comportamiento del inyector puede cambiar significativamente, y el retorno actúa como un estabilizador hidráulico que permite una compensación de presión dentro del sistema. Por tanto, ajustar este sistema puede contribuir a una mejor eficiencia de combustión, reduciendo los niveles de opacidad medidos.

Figura 4

Despiece del Inyector Common Rail – Componentes Internos



Fuente: (Online, s.f)

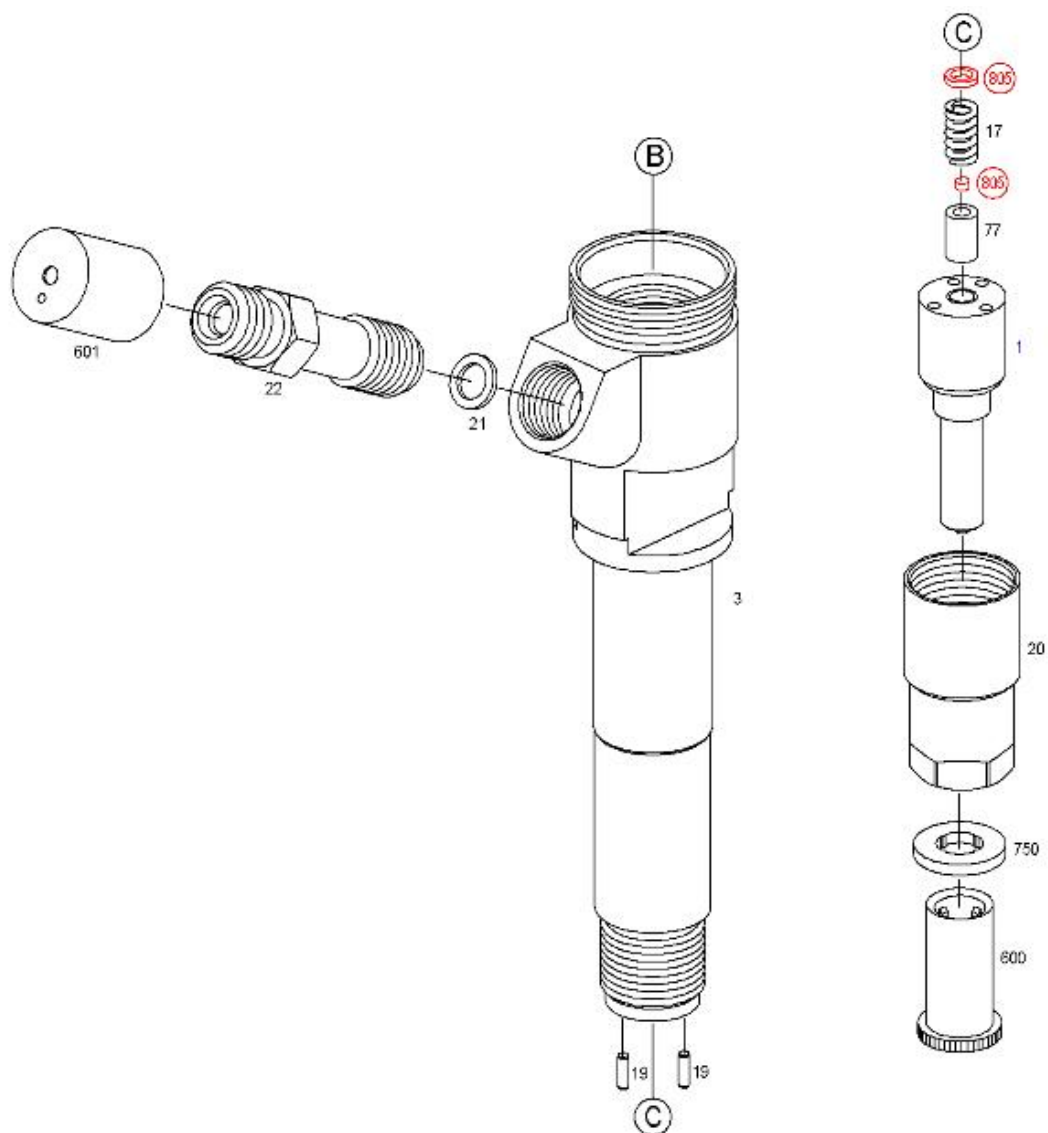
Tabla 1*Nombre y número de partes del inyector*

NOMBRES DE PARTES	NÚMERO DE PARTE
Tapa protectora	602
Seguro	26
Conjunto de imán	2
Anillo de ajuste	805
Manga de detención	48
Arandela de bloqueo o seguridad	805
Resorte de armadura	15
Arandela de ajuste	805
Guías de inducido	806
Tornillo de tensor	11
Guías de bolas	7
Bola de válvula	6
Válvula	4
Anillos de sellado	800

Tabla 2*Nombre y número de partes del inyector*

NOMBRES DE PARTES	NÚMERO DE PARTE
Tapa protectora	601
Racor de empalme	22
Empaque de junta	21
Cuerpo	3
Alfiler	19
Pieza de presión	805
Resorte de boquilla	17
Pieza de presión	805
Guía de casquillo	77
Boquilla tipo agujero	1
Tuerca de retención de la boquilla	20
Anillo de sellado	750

Tapa protectora	600
-----------------	-----

Figura 5*Despiece de Cuerpo de Inyector y Conexiones de Alta Presión**Fuente:* (Online, s.f)

Materiales y Métodos

Métodos

En la presente investigación el tipo de análisis aplicado es inductivo experimental ya que este método tiene un enfoque empleado a investigar, analizando sistemáticamente datos empíricos particulares, con este método se podrá valorar y comparar los resultados obtenidos del inyector diésel CRDI de una camioneta Mazda

BT-50. Obteniendo información del manual de fabricante para tomar en cuenta los parámetros de funcionamiento del inyector, tomando en cuenta esto se realiza la experimentación de inyectores a diferente calibración con parámetros de funcionamiento y midiendo la opacidad que esto genera. El método de investigación inductivo experimental llevara se llevará a cabo para obtener los resultados reales que se puedan aplicar en el vehículo con el apoyo de un laboratorio capacitado y especializado en diésel (Universitario, 2024).

Materiales

Banco EPS 205

El equipo de Bosch EPS 205 es un banco de pruebas que está diseñado para realizar evaluaciones precisas de inyectores diésel common rail, dándonos así resultados en trabajos reales como el trabajo en plena carga, emisiones de la pulverización, trabajo en ralentí y la preinyección, este equipo puede trabajar con inyectores con solenoides y piezoeléctricos (diesel, 2022).

Figura 6

Banco de Pruebas para Inyectores – BOSCH EPS 205



Fuente: (Autores, 2025)

Opacímetro

La opacidad son las emisiones respecto a la calidad del aire, es decir que existe una cantidad de luz que es obstruida por partículas de gases contaminantes de vehículos diésel. La medición de estos gases se evalúa la concentración y densidad de partículas

sólidas que salen de los gases de escape hacia el aire como son el hollín y polvo. Esta medición se utiliza para supervisar y regular los gases contaminantes en vehículos a diésel o entornos industriales, de esta manera se trata de controlar las partículas que liberen estos motores (Envira, 2023). El equipo de medición de opacidad que nosotros utilizamos es el” Brain Bee OPA -300” es un dispositivo que mide la opacidad cumpliendo las normas europeas de inspección vehicular

Figura 7

Analizador de gases Automotrices – BrainBee Workshop Solutions



Fuente: (Bee, 2025)

Kit de medición de retorno de inyectores common rail

Para realizar la prueba de retorno de los inyectores common rail se necesita un kit de medición que consiste en verificar el retorno de caudal de cada uno de los inyectores, tomando en cuenta que este tipo de sistema es a alta presión si hay un alto volumen de retorno esto significa que hay un elevado volumen de inyección. Por otra parte, si tenemos una medición de bajo volumen tenemos que hay un bajo volumen de inyección de combustible, si alguna botella graduada se llena más rápido que otras esto quiere decir que hay un retorno mayor en ese inyector. Para realizar esta prueba tenemos que identificar la cañería de retorno del inyector desconectar la manguera y colocar nuestro equipo de medición en cada uno de los inyectores en este caso de los 4 inyectores, una vez conectado las toberas de la herramienta en cada inyector se procede a dar arranque y verificar cual es la medida volumétrica que lleno cada inyector en la cada botella graduada de la herramienta (avance, 2019).

Figura 8*Kit Medidor de Retorno de Inyectores Diesel Common Rail**Fuente: (ingenieros, 2025)*

Resultados

Se realizaron estudios con diferentes tipos de máquinas en el cual se pudo recopilar los siguientes resultados.

Para el desarrollo del procedimiento experimental, se evaluaron tres inyectores Bosch CRDI pertenecientes a un vehículo Mazda BT-50 año 2016, motor 2.5L, en distintos estados de funcionamiento y con diferentes calibraciones. Esto permitió analizar el efecto que tiene el estado del inyector sobre el retorno de combustible y los niveles de opacidad.

Figura 9*Mazda BT-50 año 2016**Fuente: (Autores, 2025)*

1. Inyectores nuevos

En la primera prueba, se utilizaron inyectores nuevos. La máquina de

comprobación Bosch EPS 205 arrojó un parámetro de eficiencia de inyección (EM) de 22.40. Al desarmar los inyectores se determinó que la arandela de calibración tenía un espesor de 1480 micras, valor que coincide con los estándares del fabricante.

Luego de la instalación en el vehículo, se procedió a realizar la prueba de retorno bajo condiciones controladas, obteniendo un valor de 60 ml en 1 minuto, lo cual se encuentra dentro de los parámetros permitidos por el fabricante (máximo 80 ml/min).

En condiciones normales de operación, con estos inyectores nuevos, el vehículo presentó un rendimiento de 34 kilómetros por galón de diésel, reflejando un desempeño eficiente tanto en consumo como en el funcionamiento del sistema de inyección.

Tabla 3

Informe de Opacidad – Diagnóstico de Emisiones Diesel

OPACIDAD			
Temperatura Motor:		#88 {°C}	
	Pico opacidad	RPM ralentí	RPM max
	{%}	{1/min}	{1/min}
Aceleración 1:	60.0	700	4000
Aceleración 2:	57.3	700	4000
Aceleración 3:	52.8	700	4000
Aceleración 4:	54.9	700	4000
Aceleración 5:	52.2	700	4000
NTE INEN 2202		PORCENTAJE MÁXIMO	49.99
RESULTADO DEL TEST:		RECHAZADO FALTA TIPO 3	
Valor diferencia de la opacidad:		7.8	
Valor diferencia de la opacidad:		55.4	

Sin embargo, en la prueba de opacidad a 4000 RPM, el equipo de medición registró un valor de 55.4%, lo cual supera el límite permitido por la Revisión Técnica Vehicular (RTV) en Quito, que establece un máximo de 50% para vehículos diésel hasta el año 2019. Este resultado indica que, a pesar de contar con inyectores en buen estado, otros factores pueden estar influyendo en la eficiencia de combustión y la emisión de partículas.

2. Inyectores usados (sin mantenimiento ni calibración)

En la segunda prueba se evaluaron inyectores usados, sin mantenimiento ni calibración previa. El equipo de comprobación Bosch EPS 205 reportó un valor de EM

de 24.75. Al desmontar los inyectores, se midió la arandela de calibración, cuyo espesor fue de 1497 micras, excediendo el rango recomendado por el fabricante. Este desgaste excesivo, resultado del uso prolongado sin mantenimiento, afecta negativamente el desempeño del inyector.

La prueba de retorno realizada con estos inyectores instalados arrojó un valor de 91 ml/min, superior al límite máximo permitido de 80 ml/min, indicando un funcionamiento defectuoso. Este aumento en el retorno compromete la correcta inyección de combustible, reduce la eficiencia de la combustión y puede acelerar el desgaste de componentes internos del motor.

En consecuencia, el rendimiento de combustible del vehículo disminuyó a 25 km por galón de diésel, evidenciando un impacto negativo en la eficiencia del motor debido al mal estado de los inyectores.

Tabla 4

Informe de Opacidad con Alto Nivel de Emisiones – Rechazo Tipo 3

OPACIDAD			
Temperatura Motor:		#88 {°C}	
	Pico opacidad	RPM ralentí	RPM max
	{%}	{1/min}	{1/min}
Aceleración 1:	79.9	700	4000
Aceleración 2:	80.7	700	4000
Aceleración 3:	80.0	700	4000
Aceleración 4:	81.2	700	4000
Aceleración 5:	79.2	700	4000
NTE INEN 2202		PORCENTAJE MÁXIMO	49.99
RESULTADO DEL TEST: RECHAZADO FALTA TIPO 3			
Valor diferencia de la opacidad:		2.0	
Valor diferencia de la opacidad:		80.2	

La prueba de opacidad registró un valor de **80.2 %** a **4000 RPM** y a una temperatura de **88 °C**, valor que es considerablemente elevado y no cumple con el límite máximo permitido por la Revisión Técnica Vehicular (RTV) en Quito, que es del **50 %** para vehículos diésel hasta el año 2019.

3. Inyectores usados con calibración específica

Como última prueba, se evaluaron inyectores usados que fueron sometidos a una

calibración específica antes de su instalación. La máquina de comprobación Bosch EPS 205 registró un valor de EM de 20.82, lo cual refleja una mejora en la eficiencia de inyección respecto a los inyectores sin mantenimiento.

Durante la inspección física, se determinó que la arandela de calibración presentaba un espesor de 1465 micras, correspondiente al valor mínimo permitido por el fabricante, lo que indica una reducción máxima dentro del rango aceptable.

Posteriormente, se instalaron los inyectores en el vehículo y se realizó la prueba de retorno de combustible, obteniéndose un valor de 48 ml/min, dentro de los parámetros establecidos por el fabricante (entre 40 ml/min y 80 ml/min).

Tabla 5

Informe de Opacidad – Resultado Aprobado sin Faltas

OPACIDAD			
Temperatura Motor:		#88 {°C}	
	Pico opacidad	RPM ralenti	RPM max
	{%}	{1/min}	{1/min}
Aceleración 1:	18.3	700	4000
Aceleración 2:	18.8	700	4000
Aceleración 3:	18.1	700	4000
Aceleración 4:	17.7	700	4000
Aceleración 5:	18.2	700	4000
NTE INEN 2202		PORCENTAJE MÁXIMO	49.99
RESULTADO DEL TEST:		APROBADO SIN FALTAS	
Valor diferencia de la opacidad:		1.1	
Valor diferencia de la opacidad:		18.2	

De opacidad nos dio un resultado de 18.2 % a 4000 RPM a una temperatura de 88 grados centígrados lo cual es el valor apropiado para aprobar la revisión técnica vehicular en quito que es de hasta el 50% de vehículos hasta años anteriores del 2019.

Este caso demuestra que, mediante una calibración adecuada, es posible optimizar el rendimiento de inyectores usados, logrando parámetros de retorno y emisiones dentro de los límites normativos, e incluso por debajo de los valores registrados con inyectores nuevos ya que el rendimiento de combustible rinde a 41 km por galón de diesel.

Tabla 6

Comparativa de Calibraciones del Inyector Bosch 0445110250

N° DE CALIBRACIONES	MARCA		BOSCH			
	N° de inyector	CONDICION	ARANDELA DE CALIBRACIÓN	PARAMETROS DE EMISIONES (EM)	PORCENTAJE DE OPACIDAD	VOLUMEN DE RETORNO EN ML/ 1 MIN
CALIBRACION 1	445110250	NUEVO	1480 MICRAS	22.40	55,40%	60
CALIBRACION 2	445110250	USADO - CALIBRADO	1465 MICRAS	20.82	18,57%	48
CALIBRACION 3	445110250	USADO- SIN CALIBRACION	1497 MICRAS	24.75	80,20%	91

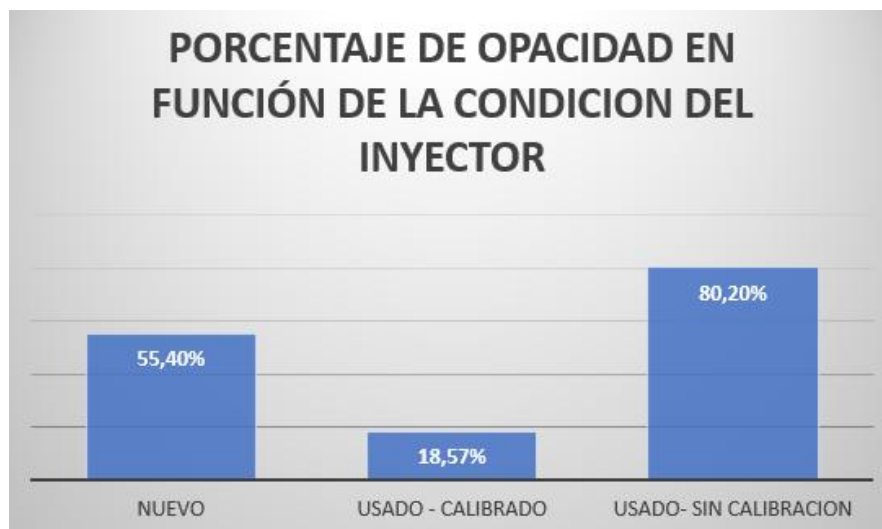
En la tabla general podemos visualizar y comparar de mejor manera la información de acerca de las pruebas y los resultados obtenidos en este trabajo.

Figura 10

Volumen de Retorno según Condición del Inyector



El volumen de retorno en un inyector CRDI aumenta proporcionalmente al desgaste interno del componente. A medida que el inyector envejece y sus piezas sufren desgaste, se generan mayores fugas internas, lo que incrementa el caudal de combustible que retorna al depósito. En cambio, un inyector en buen estado presenta un retorno mínimo, ya que mantiene sellos y tolerancias hidráulicas adecuadas. Este comportamiento afecta directamente la presión del riel común, la eficiencia de la combustión y las emisiones, siendo un indicador útil para el diagnóstico del estado del inyector.

Figura 11*Porcentaje de Opacidad según Condición del Inyector*

El porcentaje de opacidad en un vehículo depende de múltiples factores, como se puede observar en la tabla. Incluso con inyectores nuevos, los niveles de opacidad pueden no alcanzar valores aceptables según los parámetros exigidos por la Revisión Técnica Vehicular de Quito. Esto se debe a variables como la altitud, el estado general del motor y la aplicación adecuada del mantenimiento preventivo.

Los resultados muestran que el inyector con calibración corregida presentó menor opacidad que el inyector sin calibrar. Esto concuerda con lo planteado por Reyes y Molina (2017), quienes afirmaron que una calibración precisa reduce las emisiones por inyección deficiente.

Conclusiones

Los valores de opacidad no solo dependen del sistema de inyección, sino también de factores externos como la altitud (en este caso, Quito), el estado general del motor y la aplicación adecuada del mantenimiento preventivo, por lo que es necesario un enfoque integral para cumplir con los límites exigidos en la Revisión Técnica Vehicular.

Durante el experimento se evidenció que la opacidad de los gases de escape disminuye considerablemente al utilizar una arandela más delgada de 1465 micras 15 micras más delgada de lo que propone el fabricante 1480 micras, alcanzando valores cercanos al 20% de opacidad lo cual está en el rango para aprobar la revisión técnica vehicular. En contraste, una arandela desgastada de 1497 micras lo cual está 17 micras sobrepasadas de la medida del fabricante elevó la opacidad hasta un 80%. Estos resultados reflejan que el espesor de la arandela influye directamente en la calidad de la combustión y en la cantidad de partículas emitidas. Una menor opacidad implica una combustión más eficiente, lo cual es esencial para cumplir con normativas ambientales y de revisión técnica vehicular.

El volumen de retorno medido en los inyectores se incrementó en 30 ml significativamente en aquellos casos donde se empleó una arandela desgastada o con menor precarga efectiva. Esto indica un mayor grado de desgaste interno en los inyectores, lo que provoca fugas de combustible hacia el retorno. Esta relación directa entre retorno elevado y desgaste permite concluir que la medición del volumen de retorno es una herramienta diagnóstica confiable para determinar el estado funcional de los inyectores CRDI sin necesidad de desmontarlos por completo.

Se concluye que existe una relación inversamente proporcional entre la eficiencia del inyector y la cantidad de retorno de combustible: a mayor eficiencia del inyector (es decir, cuando inyecta más combustible al cilindro), menor es el volumen de retorno. Este comportamiento refleja un adecuado funcionamiento del sistema de inyección, ya que un retorno elevado puede ser indicativo de desgaste interno o fugas, afectando directamente la calidad de la combustión y elevando los niveles de opacidad en los gases de escape.

Bibliografía

- Autonorma. (02 de 05 de 2022). *Inyectores Common Rail: para qué sirven y cómo saber que no funcionan*. Obtenido de Inyectores Common Rail: para qué sirven y cómo saber que no funcionan: <https://www.autonorma.es/blog/post/53-inyectores-common-rail-para-que-sirven-y-como-saber-que-no-funcionan>
- Delgado, M., Romero, A., & Cabrera, C. (2016). Evaluación del desempeño de inyectores diésel en función del retorno y la presión de apertura. *Revista Técnica Automotriz*, 12(2), 45–52.
- diesel, M. (2022). *Bosch EPS 205*. Obtenido de Bosch EPS 205: https://malabon-diesel.com/diesel-king/equipment/diesel-system-testing/bosch-eps-205.html?utm_source=chatgpt.com
- Online, D. C. (s.f de s.f de s.f). *Catalogo de diesel, bombas de combustible, inyectores y otros repuestos*. Obtenido de Catalogo de diesel, bombas de combustible, inyectores y otros repuestos.: <https://dieseltcatalog.online/en/bosch/04451/0445110250.html>
- Opentech. (14 de 06 de 2020). *Norma tecnica ecuatoriana 2202*. Obtenido de Norma tecnica ecuatoriana 2202: <https://opentechec.com/index.php/component/phocadownload/file/1-norma-tecnica-#:~:text=Gesti%C3%B3n%20ambiental,el%20m%C3%A9todo%20de%20ace raci%C3%B3n%20libre.>
- Race. (19 de 05 de 2023). *En que consiste el common rail de los motores diesel* . Obtenido de En que consiste el common rail de los motores diesel: <https://www.race.es/funcionamiento-common-rail>
- Reyes, D., & Molina, J. (2017). Influencia del mantenimiento preventivo en inyectores sobre las emisiones de motores diésel. *Revista Latinoamericana de Ingeniería Mecánica*, 9(1), 33–40.
- Torres, R., & Vargas, L. (2015). Análisis del efecto del retorno de inyectores en la opacidad de gases de escape en motores diésel. *Revista de Tecnología y Energía*, 8(3), 27–35.
- Universitario, E. (09 de 25 de 2024). *Método inductivo y deductivo* . Obtenido de

Método inductivo y deductivo : <https://expertouniversitario.es/blog/metodo-inductivo-y-deductivo/>

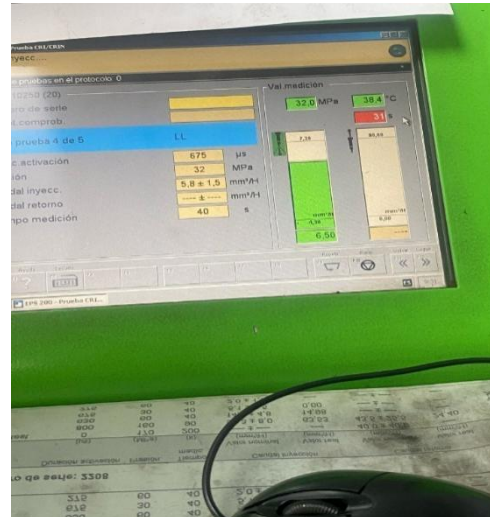
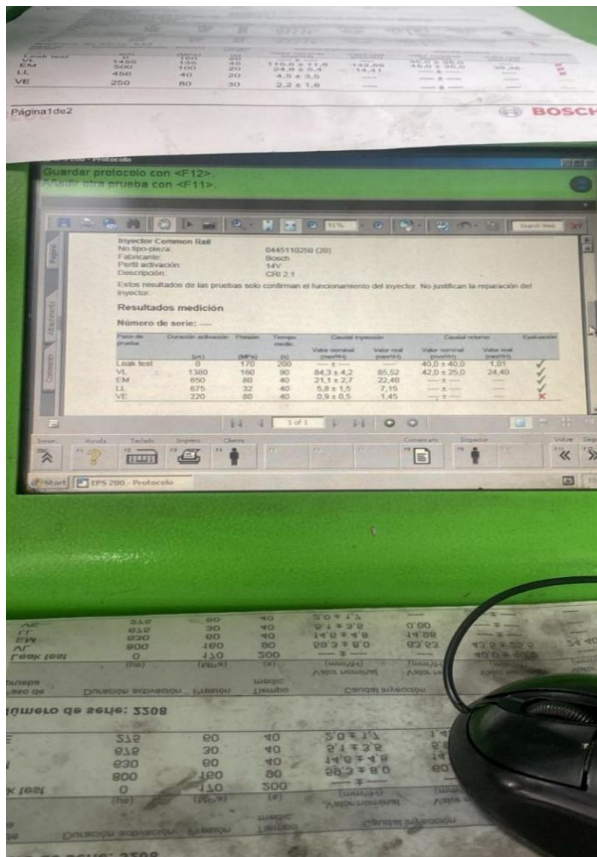
Anexos

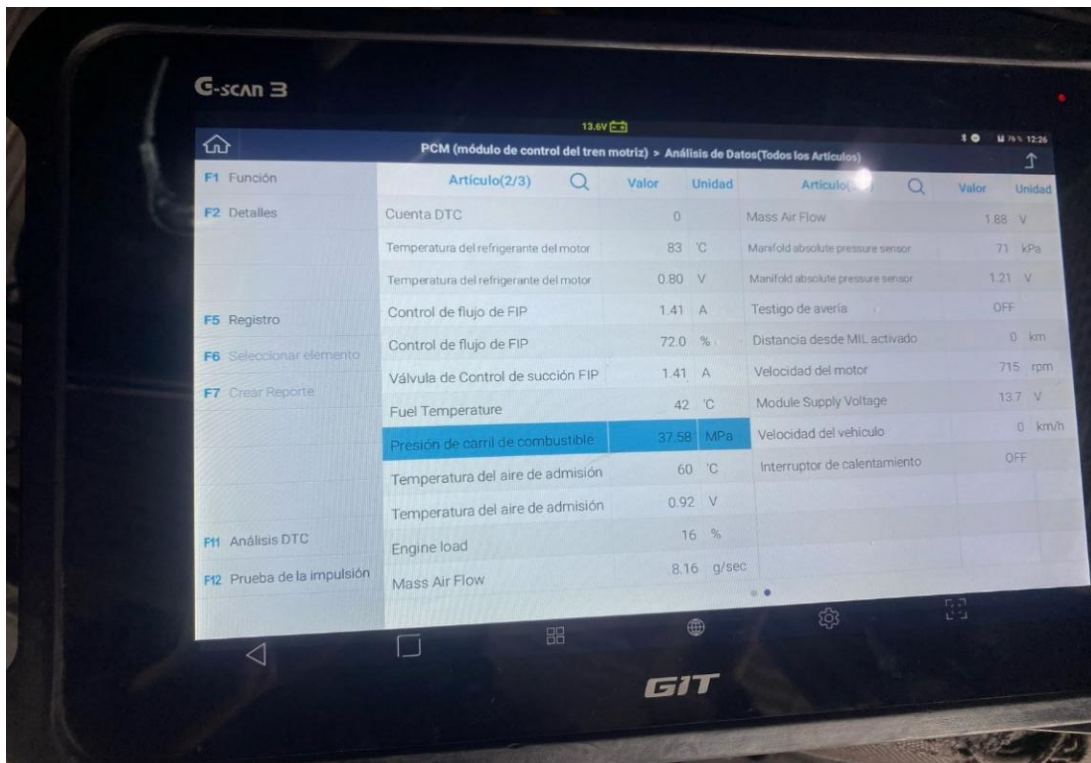
Anexos materiales y métodos





Anexos resultados y discusión





Protocolo EPS 200**Prueba inyector Common Rail****BOSCH**

Fecha

06/05/2025 9:59:50

Expedido por

TECNOTRONIC DIESEL

Av. Panamericana Sur km 7 1/2

Tambillo

Tel.: 2317764

Fax:

Email: dglascano@gmail.com

Inspector:

Datos cliente

Tel.:

Fax:

Email:

No. cliente:

Inyector Common Rail

No. tipo-pieza:

0445110250 (20)

Fabricante:

Bosch

Perfil activación:

14V

Descripción:

CRI 2.1

Estos resultados de las pruebas solo confirman el funcionamiento del inyector. No justifican la reparación del inyector.

Resultados medición**Número de serie: ---**

Paso de prueba	Duración activación (μ s)	Presión (MPa)	Tiempo medic. (s)	Caudal inyección		Caudal retorno		Evaluación
				Valor nominal (mm ³ /h)	Valor real (mm ³ /h)	Valor nominal (mm ³ /h)	Valor real (mm ³ /h)	
Leak test	0	170	200	--- $\pm$ ---	---	40,0 $\pm$ 40,0	1,01	✓
VL	1380	160	90	84,3 $\pm$ 4,2	85,52	42,0 $\pm$ 25,0	24,40	✓
EM	650	80	40	21,1 $\pm$ 2,7	22,40	--- $\pm$ ---	---	✓
LL	675	32	40	5,8 $\pm$ 1,5	7,15	--- $\pm$ ---	---	✓
VE	220	80	40	0,9 $\pm$ 0,5	1,45	--- $\pm$ ---	---	✗

**BOSCH**

Protocolo EPS 200

Prueba inyector Common Rail

 **BOSCH**
Fecha 06/05/2025 10:36:31

Expedido por
TECNOTRONIC DIESEL
Av. Panamericana Sur km 7 1/2
Tambillo

Tel.: 2317764
Fax:
Email: dglascano@gmail.com

Inspector:

Datos cliente

Tel.:
Fax:
Email:

No. cliente:

Inyector Common Rail

No. tipo-pieza: 0445110250 (20)
Fabricante: Bosch
Perfil activación: 14V
Descripción: CRI 2.1

Estos resultados de las pruebas solo confirman el funcionamiento del inyector. No justifican la reparación del inyector.

Resultados medición

Número de serie: 1104

Paso de prueba	Duración activación (μ s)	Presión (MPa)	Tiempo medic. (s)	Caudal inyección		Caudal retorno		Evaluación
				Valor nominal (mm ³ /H)	Valor real (mm ³ /H)	Valor nominal (mm ³ /H)	Valor real (mm ³ /H)	
Leak test	0	170	200	— $\pm$ —	—	40,0 $\pm$ 40,0	10,69	✓
VL	1380	160	90	84,3 $\pm$ 4,2	80,91	42,0 $\pm$ 25,0	39,16	✓
EM	650	80	40	21,1 $\pm$ 2,7	20,82	— $\pm$ —	—	✓
LL	675	32	40	5,8 $\pm$ 1,5	2,32	— $\pm$ —	—	✗
VE	220	80	40	0,9 $\pm$ 0,5	2,07	— $\pm$ —	—	✗



TEST OFICIAL OPACIDAD HUMO

OPACÍMETRO		OPA-300	TACÓMETRO	
Número de Serie	:	190613000289	Número de Serie	:
Número de Homologación	:	OM00293EST003Ab/NET	Número de Homologación	:
Fecha vencimiento calibración	:	25/01/2026	Fecha vendimiento calibración	:

DATOS TALLER

ADDRESS: Los Guayabos N51-84 y Av Eloy Alfaro	NAME
ZIP - CITY: Quito- Ecuador	TELEPHONE
	FAX - EMAIL

DATOS DEL VEHICULO

Placa	: -----	Odómetro	: 235313
Marca	: MAZDA	Año de Construcción	: 2016
Modelo	: B T - 5 0 2 . 5		
No. Chasis	:		

LIMITES PRESCRITOS

Temperatura Motor	: 75 [°C]	Diferencia opacidad	: 10 [%]	Opacidad	: 50 [%]
-------------------	-----------	---------------------	----------	----------	----------

VALORES MEDIDOS

OPACIDAD				
Temperatura Motor	:	#88 [°C]		
	Pico opacidad	RPM ralenti	RPM max	
	[%]	[1/min]	[1/min]	
Aceleración 1	: 18.3 *	#700	#4000	
Aceleración 2	: 18.8 *	#700	#4000	
Aceleración 3	: 18.1 *	#700	#4000	
Aceleración 4	: 17.7 *	#700	#4000	
Aceleración 5	: 18.2 *	#700	#4000	

RESULTADO DEL TEST : APROBADO SIN FALTAS

Valor diferencia de la opacidad	: 1.1
Valor promedio de la opacidad	: 18.2
Fecha y hora de inicio prueba	: 27/05/2025 13:51:32
Fecha y hora de termine prueba	: 27/05/2025 13:55:16



TEST OFICIAL OPACIDAD HUMO

OPACÍMETRO		OPA-300		TACÓMETRO	
Número de Serie	:	190613000289	Número de Sello	:	
Número de Homologación	:	OM00293EST003Ab/NET	Número de Homologación	:	
Fecha vencimiento calibración	:	25/01/2026	Fecha vencimiento calibración	:	
DATOS TALLER					
ADDRESS: Los Guayabos N51-84 y Av Eloy alfaro			NAME		
ZIP - CITY Quito-Ecuador			TELEPHONE:		
			FAX - EMAIL		
DATOS DEL VEHICULO					
Placa	:	-----	Odómetro	:	234980
Marca	:	MAZDA	Año de Construcción	:	2016
Modelo	:	BT - 502 . 5			
No. Chasis	:				
LIMITES PRESCRITOS					
Temperatura Motor	:	75 [°C]	Diferencia opacidad	:	10 [%]
			Opacidad	:	50 [%]
VALORES MEDIDOS					
OPACIDAD					
Temperatura Motor	:	#88 [°C]			
		Pico opacidad [%]	RPM ralenti [1/min]	RPM max [1/min]	
Aceleración 1	:	79.9 *	#700	#4000	
Aceleración 2	:	80.7 *	#700	#4000	
Aceleración 3	:	80.0 *	#700	#4000	
Aceleración 4	:	81.2 *	#700	#4000	
Aceleración 5	:	79.2 *	#700	#4000	
RESULTADO DEL TEST : RECHAZADO FALTA TIPO 3					
Valor diferencia de la opacidad	:	2.0			
Valor promedio de la opacidad	:	80.2			
Fecha y hora de inicio prueba	:	07/05/2025 13:16:19			
Fecha y hora de termine prueba	:	07/05/2025 13:18:00			

		TEST OFICIAL OPACIDAD HUMO	
OPACÍMETRO OPA-300		TACÓMETRO	
Número de Serie	: 190613000289	Número de Serie	:
Número de Homologación	: OM00293EST003Ab/NET	Número de Homologación	:
Fecha vencimiento calibración	: 25/01/2026	Fecha vencimiento calibración	:
DATOS TALLER			
ADDRESS: Los Guayabos N51-84 y Av Eloy alfaro		NAME	
ZIP - CITY Quito-Ecuador		TELEPHONE:	
		FAX - EMAIL	
DATOS DEL VEHICULO			
Placa	: -----	Odómetro	: 234580
Marca	: M A Z D A	Año de Construcción	: 2016
Modelo	: B T - 5 0 2 . 5		
No. Chasis	:		
LIMITES PRESCRITOS			
Temperatura Motor	: 75 [°C]	Diferencia opacidad	: 10 [%]
		Opacidad	: 50 [%]
VALORES MEDIDOS			
OPACIDAD			
Temperatura Motor	:	#88 [°C]	
		Pico opacidad	RPM ralenti RPM max
		[%]	[1/min] [1/min]
Aceleración 1	: 60.0 *	#700	#4000
Aceleración 2	: 57.3 *	#700	#4000
Aceleración 3	: 52.8 *	#700	#4000
Aceleración 4	: 54.9 *	#700	#4000
Aceleración 5	: 52.2 *	#700	#4000
RESULTADO DEL TEST : RECHAZADO FALTA TIPO 3			
Valor diferencia de la opacidad	:	7.8	
Valor promedio de la opacidad	:	55.4	
Fecha y hora de inicio prueba	:	29/04/2025 11:16:19	
Fecha y hora de termine prueba	:	29/04/2025 11:28:54	