



ING. AUTOMOTRIZ

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

AUTORES:

Wilmer Santiago Cargua Rosero
Rodolfo Esteban Simbaña Llumiquinga

TUTOR:

Ing. Pablo Ante MSc.

Tema:

Comparativa de emisiones en inyectores CRI 3
piezoeléctricos según tabla presión vs volumen de
acuerdo a normativa.

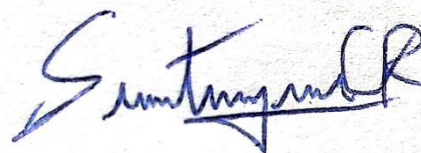
CERTIFICACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros, **Rodolfo Esteban Simbaña Llumiquinga** y **Wilmer Santiago Cargua Rosero**, 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.



Rodolfo Esteban Simbaña Llumiquinga



Wilmer Santiago Cargua Rosero

APROBACIÓN DEL TUTOR

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

ANTE SANCHEZ
PABLO FERNANDO

Firmado digitalmente
por ANTE SANCHEZ
PABLO FERNANDO
Fecha: 2026.08.05
11:52:34 -05'00'

Ing. Pablo Fernando Ante Sánchez.

Director de tesis

DEDICATORIA

Me complace dedicar el proyecto principalmente a Dios, quien ha sido mi guía en este largo camino de la vida, el cual me dio su bendición para poder seguir a delante sobre cualquier inconveniente.

Es una satisfacción muy grade poder terminar mis estudios y lograr un objetivo más cumplido me complace poder dedicarle a mi padre Luis Simbaña a mi madre Narcisa Llumiquinga también a mis hermanos Leonela y Luis David, los cuales me dieron todo su apoyo en este camino académico, también se la dedico a mis abuelitos Eduardo Llumiquinga y Elvia Oña los cuales me enseñaron a salir hacia adelanten de cualquier problema o inconveniente que se me presente, quienes han creído en mí siempre, dándome ejemplo de superación, humildad y sacrificio enseñándome a valorar todo lo que tengo.

A toda mi familia se la dedico mi trabajo porque han fomentado en mí el deseo de superación y de triunfo en la vida. Lo que ha contribuido a la consecución de este logro. Espero contar siempre con su valioso e incondicional apoyo en cada decisión que tome sin dejar de lado todo lo que han hecho por mí.

Simbaña Llumiquinga, Rodolfo Esteban

DEDICATORIA

Para mí es un orgullo poder culminar mis estudios superiores con este proyecto al que tanto esfuerzo y dedicación le he puesto, por lo que me complace dedicarle su culminación en primer lugar a mi madre Maritza Rosero y a mi padre Segundo Cargua, por brindarme la oportunidad de continuar con mis estudios y apoyarme en todo momento que he necesito para superar cada semestre con éxito, también se lo dedico a mis hermanas Stephanie Cargua y Cristina Cargua que han sido un apoyo incondicional para llegar a este punto de mi vida tras varios años de preparación y estudio con sus enseñanzas.

A todos ellos les agradezco la confianza y el esfuerzo que han hecho para poder alcanzar todos los objetivos que me he propuesto durante este camino e impulsarme a ser un gran profesional tras su culminación, solo les puedo expresar mi más sincero amor y aprecio por todo lo que han hecho por mí.

Wilmer Santiago Cargua Rosero

AGRADECIMIENTO

Primeramente doy gracias a Dios por permitirme culminar con mi proyecto, gracias a la institución: Universidad Internacional del Ecuador sede Quito por permitirme formarme en ella para lograr mi objetivo de ser un profesional hecho y derecho, gracias a cada uno de mis maestros que hizo parte de este proceso integral de formación, que deja como producto a un estudiante de excelencia además como recuerdo y prueba viviente en la historia les dejo este Proyecto, que perdurara dentro de los conocimientos y desarrollo de las demás generaciones que están por llegar.

También agradezco a mi tutor de Tesis, el Ing. Pablo Ante la guía y apoyo durante todo este proceso de realizar la tesis por la gran persona la cual dio fundamentos en este proceso largo, pero con su ayuda se logró culminar de la mejor manera el proyecto.

Finalmente agradezco a quien lee este apartado y aún más mi proyecto, por permitir a mis experiencias, investigaciones y conocimientos den como fruto un trabajo bien realizado.

Simbaña Llumiquinga, Rodolfo Esteban

AGRADECIMIENTO

Doy gracias a Dios por brindarme salud, vida y la oportunidad de recorrer este camino, doy gracias a la Universidad Internacional del Ecuador sede Quito por permitirme culminar mis estudios superiores cumpliendo todas mis expectativas, doy gracias a todos los ingenieros, compañeros de trabajo y amigos que fueron parte importante de mi proceso para lograr superarme a diario y alcanzar este objetivo.

Un agradecimiento especial al Ing. Pablo Ante, tutor del presente proyecto, por su comprensión, apoyo y guía durante todo este proceso para lograr los mejores resultados, así mismo para los señores Gilberto Cargua y Milton Pilataxi por su presencia y ayuda durante las pruebas experimentales de este proyecto.

Wilmer Santiago Cargua Rosero

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIÓN DE AUTORÍA.....	3
APROBACIÓN DEL TUTOR	4
ACUERDO DE CONFIDENCIALIDAD	5
DEDICATORIA	6
AGRADECIMIENTO	8
RESUMEN	12
ABSTRACT.....	12
INTRODUCCIÓN	13
MARCO TEÓRICO.....	14
Sistema de Inyección Directa Common Rail.....	14
Inyectores Piezoeléctricos	15
Fases del Ciclo de Inyección	15
Sistema de retorno	17
Calibración del espesor de la arandela	18
Norma ISO 11614.....	18
MATERIALES Y MÉTODOS	18
Métodos	19
Materiales	19
RESULTADOS.....	22
CONCLUSIONES	28
BIBLIOGRAFÍA	29
ANEXOS	32

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Componentes inyector piezoeléctrico	15
Tabla 2 Funcionamiento del retorno	18
Tabla 3 Volumen de retorno de acuerdo a normativa	22
Tabla 4 Límites máximos de opacidad de emisiones para fuentes móviles con motor diésel.....	22
Tabla 5 Presión vs Volumen de retorno sin modificaciones, arandela de acuerdo a normativa (2.1mm).	23
Tabla 6 Informe opacidad con arandela (2.1mm).	23
Tabla 7 Presión vs Volumen de retorno con arandela de menor espesor (1.5mm).	24
Tabla 8 Informe opacidad con arandela (1.5mm).	24
Tabla 9 Presión vs Volumen de retorno con arandela de mayor espesor (3mm).	25
Tabla 10 Informe opacidad con arandela (3mm).	25

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Inicio de inyección.....	16
Figura 2 Inyección principal.....	16
Figura 3 Post-inyección	16
Figura 4 Funcionamiento inyector piezoeléctrico.	17
Figura 5 Kit de prueba de flujo de retorno	19
Figura 6 Manómetro PIMK-010	20
Figura 7 Great Wall Poer	21
Figura 8 Opacímetro	21
Figura 9 Comparativa de presión de retorno (bares).	26
Figura 10 Comparativa de volumen de retorno (mililitros).	27
Figura 11 Comparativa de opacidad (%).	27

COMPARATIVA DE EMISIONES EN INYECTORES CRI 3 PIEZOELÉCTRICOS SEGÚN TABLA PRESIÓN VS VOLUMEN DE ACUERDO A NORMATIVA.

Ing. Pablo Fernando Ante Sánchez ¹, Wilmer Cargua.², Rodolfo Simbaña ³

¹ Ingeniería Automotriz – Universidad Internacional del Ecuador, paantesa@uide.edu.ec, Quito – Ecuador

³ Ingeniería Automotriz – Universidad Internacional del Ecuador, wicarguaro@uide.edu.ec, Quito - Ecuador

⁴ Ingeniería Automotriz – Universidad Internacional del Ecuador, rosimbanall@uide.edu.ec, Quito – Ecuador

RESUMEN

Introducción: La investigación busca analizar el comportamiento de inyectores CRI generación 3 piezoeléctricos evaluando su incidencia en las emisiones contaminantes mediante el estudio del retorno de combustible. Identificando cómo las variaciones en la presión y el volumen de retorno afectan la eficiencia de la combustión en motores diésel Common Rail, comparando el funcionamiento estándar frente a modificaciones. **Metodología:** Para lograrlo, se aplicó un método inductivo experimental donde se midieron los valores de inyectores "DELPHI" en estado original bajo régimen de ralentí conforme a la normativa del fabricante. Posteriormente, se realizó la manipulación del espesor de la arandela de calibración, originalmente de 2.1mm a medidas de 1.5mm y 3mm, para recolectar datos cuantitativos mediante tubos graduados y manómetros. Estos valores fueron comparados con los parámetros establecidos para determinar alteraciones en el piezoeléctrico y la pulverización del combustible.

Resultados: Los resultados obtenidos mostraron que disminuir el espesor de la arandela, genera un incremento en retorno de presión en 1.33%, volumen en 1.25% y opacidad de 0.25%, mientras que al aumentarlo se registró una disminución en 0.67% presión, pero incremento de volumen en 1.08% y opacidad de 1.99%. **Conclusión:** Con base en los análisis realizados, se determinó que cualquier alteración en el espesor de la arandela original degrada la eficiencia en combustión y desempeño ambiental con volumen y presión de retorno variables y con mayor opacidad. Esto sugiere que mantener las especificaciones técnicas de fábrica es la opción más eficaz para asegurar una combustión óptima y reducir las emisiones nocivas en vehículos livianos.

Palabras claves: Piezoeléctricos, Inyección, Retorno, Opacidad, Calibración.

ABSTRACT

Introduction: The research aims to analyze the behavior of third-generation piezoelectric CRI injectors by evaluating their impact on pollutant emissions through a study of fuel return. It identifies how variations in return pressure and volume affect combustion efficiency in Common Rail diesel engines, comparing standard operation with modifications. **Methodology:** To achieve this, an experimental inductive method was applied, measuring the values of DELPHI injectors in their original state under idle conditions, according to the manufacturer's specifications. Subsequently, the thickness of the calibration washer was manipulated, from its original 2.1 mm to 1.5 mm and 3 mm, to collect quantitative data using graduated tubes and pressure gauges. These values were compared with established parameters to determine alterations in the piezoelectric capacitance and fuel atomization. **Results:** The results obtained showed that decreasing the thickness of the washer generated an increase in pressure return of 1.33%, volume of 1.25% and opacity of 0.25%, while increasing it resulted in a decrease of 0.67% in pressure, but an increase in volume of 1.08% and opacity of 1.99%. **Conclusion:** Based on the analyses performed, it was determined that any alteration to the thickness of the original washer degrades combustion efficiency and environmental performance with varying return volume and pressure, and with increased

opacity. This suggests that maintaining the factory technical specifications is the most effective option to ensure optimal combustion and reduce harmful emissions in light vehicles.

Keywords: Piezoelectric, Injection, Return, Opacity, Calibration.

INTRODUCCIÓN

En el contexto actual de la industria automotriz, la reducción de emisiones contaminantes y la optimización del rendimiento energético de los motores diésel constituyen desafíos ambientales, diversos estudios señalan que contaminantes como el material particulado (PM) y los óxidos de nitrógeno (NOx), generados principalmente por procesos de combustión vehicular, representan un riesgo para la calidad del aire y la salud pública (OPS, 2024). En Quito, investigaciones sobre contaminación atmosférica han evidenciado concentraciones elevadas de material particulado y gases asociados a la actividad vehicular, especialmente NOx y PM. (López, 2022). Ante este problema, modificar los parámetros de inyección diésel Common Rail piezoeléctrica surge como una alternativa para disminuir las emisiones nocivas de motores diésel, que son los principales generadores de Nox y PM, sin embargo, aún existe limitada evidencia experimental que estudie de forma cuantitativa el sistema de retorno de combustible de los inyectores piezoeléctricos CRI.

Por lo que la presente investigación busca comparar el comportamiento de inyectores CRI generación 3 piezoeléctricos según tabla presión vs volumen del retorno de combustible, a través de la modificación del espesor de la arandela del inyector, cuya variación incide en modificaciones al piezoeléctrico (capacitancia), tobera (volumen de inyección) y válvula (amplificación de presión), permitiendo determinar variaciones en las emisiones generadas medidas en opacidad.

En una primera etapa se busca analizar de forma experimental y cuantitativa las características y funcionamiento de los inyectores CRI generación 3, cuyo fenómeno piezoeléctrico a través de un cristal de cuarzo sometido a impulsos eléctricos permite aprovechar el combustible de manera más eficiente para reducir las masas de gases tóxicos obtenidos durante la combustión (Apolonio, 2022). En una segunda etapa se busca medir mediante pruebas de laboratorio la presión, el volumen de retorno y la opacidad en un régimen de ralentí conforme a los parámetros establecidos por las normativas técnicas, puesto que el ralentí excesivo es un uso ineficiente y costoso del combustible diésel y una alta fuente de emisiones. (SmartWay ,

2019). En una tercera etapa, se busca comparar la relación entre presión y volumen de retorno en cada inyector respecto a los resultados de sus funcionamientos estándar de acuerdo al fabricante y los resultados de las pruebas respecto a modificaciones, debido a que la cantidad de combustible que retorna y la presión a la que lo hace constituyen variables que pueden indicar el estado de funcionamiento del inyector, ya que un alto retorno disminuye el volumen efectivo de inyección, lo cual afecta directamente a la combustión, provocando pérdidas de potencia y aumento en las emisiones (Neppas & Torres, 2023). Además, tanto en el escenario estándar como en el modificado se medirá el porcentaje de opacidad con el fin de identificar cual presenta un mejor desempeño ambiental.

Investigaciones previas proporcionan información con respecto a las pruebas realizadas en los equipos de medición de retorno, abarcando entrega de caudal en emisiones, ralenti e inyección previa (Noboa, 2019). Por otro lado, estudios como los de (Alvarez & Analuiza, 2025) proporcionan un protocolo estandarizado para el manejo de los componentes de los inyectores piezoeléctricos, evitando daños y maximizando la eficiencia del proceso. Sin embargo, existe información limitada respecto a pruebas de presión vs volumen de retorno de combustible y como inciden estos parámetros para definir su incidencia en las emisiones contaminantes.

MARCO TEÓRICO

Sistema de Inyección Directa Common Rail

El sistema de inyección directa common rail (CRDI) está basado en el accionamiento de los inyectores comandados por la unidad de control electrónica del vehículo (ECU), manejando una alta presión por medio de un riel común que almacena el combustible. (Gordillo & Yépez , 2024). La generación de presión y la inyección, se encuentran separadas, por lo que la presión se genera independientemente del régimen del motor y del caudal de inyección con una bomba de alta presión que genera aproximadamente 1400 bar, mientras que la inyección se acciona a través de una electroválvula controlada (Bosch, 2005). El combustible a presión se almacena en el riel y posteriormente, se proporciona combustible a todos los inyectores a una presión constante, evitando afectaciones en la atomización (Coral de la Cadena, 2013).

Adoptar el sistema common rail en vehículos livianos (CRI) permite obtener una combustión más eficiente, lo que reduce las emisiones y mejora el rendimiento del motor en términos de potencia y consumo de combustible (Cobo, 2013).

Injectores Piezoeléctricos

Funcionan por medio del fenómeno piezoeléctrico inverso que consiste en un cristal de cuarzo que se deforma cuando es sometido a un impulso eléctrico suministrado por la ECU, dando lugar a diferencias de presiones que activan la aguja, posibilitando la inyección. (Ayora, 2017).

Presentan mayor eficiencia frente a inyectores electromagnéticos, ya que logran reducir el consumo de combustible y las emisiones de gases tóxicos por su rapidez de respuesta debido a la baja inercia entre sus componentes. (Neppas & Torres, 2023). Un inyector piezoeléctrico está conformado por los siguientes componentes especificados en la tabla 1.

Tabla 1

Componentes inyector piezoeléctrico

LISTADO DE COMPONENTES	
1. Terminal Eléctrico	7. Muelle de Émbolo de la válvula
2. Filtro de barra	8. Válvula de Mando
3. Retorno de combustible	9. Cámara de control
4. Actuador Piezoeléctrico	10. Muelle de la Tobera del Inyector
5. Émbolo Acoplador	11. Arandela de calibración
6. Émbolo de válvula	12. Aguja

Nota. Adaptado de (Meganeboy, 2001).

Fases del Ciclo de Inyección

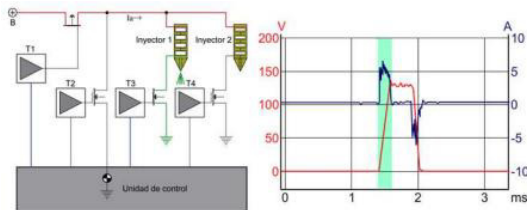
Para iniciar con la inyección, la ECU envía una tensión de 70 V durante 0.2 mseg y bajo el efecto piezoeléctrico inverso los cristales elevan el voltaje hasta 140V, ya que generan un impulso eléctrico al deformarse. A este proceso se lo conoce como tensión de carga. (Augeri, 2010). A partir de ello, se puede estimar que existen tres fases de inyección:

- Pre-inyección: Consiste en implementar una pequeña cantidad de combustible para aumentar la temperatura y presión de forma gradual. (Noboa, 2019). Posteriormente, la

ECU alimenta al actuador, el cual, frente a la tensión, se dilata y abre el inyector por efecto piezoeléctrico inverso. (Archilla, 2016)

Figura 1

Inicio de inyección

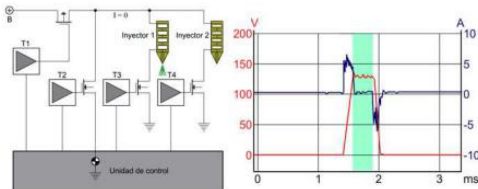


Fuente: (Archilla, 2016)

- **Inyección principal:** Con la válvula abierta, se corta el suministro de energía y el actuador retiene la carga eléctrica, permaneciendo dilatado y el inyector abierto. (Archilla, 2016). Esta etapa permite lograr una combustión más progresiva que disminuye las emisiones contaminantes. (Bosch, 2005)

Figura 2

Inyección principal

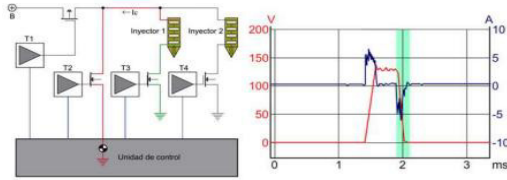


Fuente: (Archilla, 2016)

- **Post-inyección:** La ECU se encarga de descargar la tensión acumulada al suministrar otro impulso eléctrico conocido como tiempo de descarga para que los cristales vuelvan a su estado inicial y paren la inyección (Archilla, 2016). A su vez, se produce un aumento de temperatura en las líneas de escape, para reducir las emisiones nocivas. (Castro & Gonzáles, 2018).

Figura 3

Post-inyección



Fuente: (Archilla, 2016)

Sistema de retorno

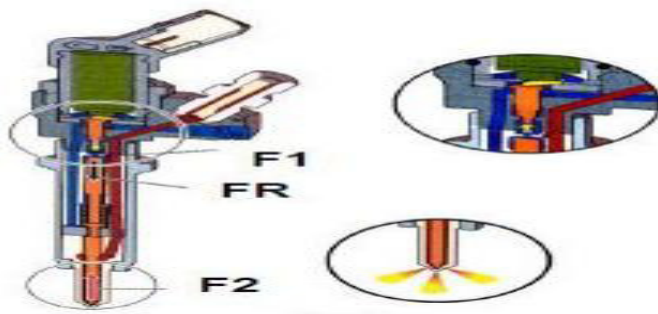
La función del retorno es devolver al tanque el combustible que no ha sido aprovechado por los inyectores durante la combustión, contribuyendo a mantener una presión estable (Alcocer, 2024). El sistema está compuesto por una tubería de retorno que enlaza directamente los inyectores con el depósito, de modo que cuando el combustible es enviado a los cilindros, una fracción no utilizada fluye nuevamente hacia el tanque a través de esta conducción, garantizando un suministro constante de combustible al sistema y evita la formación de burbujas de aire que podrían afectar el rendimiento del motor. (Guerra, Guasumba , & Guamán, 2021).

De acuerdo a (Delgado , Romero , & Cabrera , 2016) 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, afectando directamente a la combustión

Para comprender mejor el retorno, la figura 4 y tabla 2 indican las fuerzas que se generan con el inyector abierto o cerrado.

Figura 4

Funcionamiento inyector piezoeléctrico.



Fuente: (Cobo, 2013)

F1: Fuerza resultante de la presión en la cámara de control, F2: Fuerza de la cámara de presión, FR: Fuerza del resorte de calibración del inyector.

Tabla 2

Funcionamiento del retorno

Inyector Cerrado		Inyector Abierto
Cuando $\sum F1 + FR < F2$	Ec.[1.1]	Cuando $\sum F1 + FR > F2$ Ec.[1.2]
El piezoeléctrico no tiene alimentación, por lo que la aguja cierra el canal de retorno gracias al resorte.		El piezoeléctrico tiene alimentación, por lo que la aguja permite el paso del retorno, liberando la presión del sistema.

Nota. Adaptado de (Simbaña, 2023).

Calibración del espesor de la arandela

La arandela del inyector es un elemento de calibración en los sistemas common rail de inyección piezoeléctrica, cuya variación de espesor genera modificaciones a parámetros del sistema, como modificar el caudal de retorno al disminuir su espesor, o, al modificar la precarga del resorte interno del inyector, que produce una alteración en la presión mínima de inyección. (Torres & Vargas , 2015)

Norma ISO 11614

Es la norma internacional que define los requisitos generales de instalación para los opacímetros y el procedimiento para medir la opacidad y determinar el coeficiente de absorción de luz en los gases de escape motores diésel. Bajo ella, se efectúa aceleraciones libres del motor desde el régimen de ralentí hasta la velocidad máxima sin carga, exige una repetitividad en las mediciones para verificar que los resultados sean consistentes.

Norma INEN 2207

Es la norma que rige actualmente en el Ecuador para establecer los límites permitidos de emisiones contaminantes producidas por vehículos automotores que utilizan diésel, en la revisión técnica vehicular, se toman los valores de estas mediciones en % de opacidad.

MATERIALES Y MÉTODOS

Métodos

La presente investigación utiliza un método inductivo experimental, enfocado en generar conclusiones a partir de la observación y experimentación con respecto a datos empíricos particulares, como lo son la presión y el volumen de retorno como variables dependientes que cambiarán de acuerdo a la manipulación de la variable independiente que es el espesor de la arandela del inyector, de modo que se pueda comparar los resultados de las variables dependientes y cómo inciden en las emisiones, en un funcionamiento estándar de acuerdo a la información proporcionada por el fabricante y un funcionamiento modificado de acuerdo a la variable independiente.

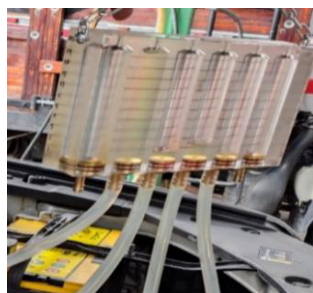
Materiales

- Kit de prueba de flujo de retorno

El kit de prueba de flujo de retorno son tubos graduados conjuntos que permiten medir el volumen en mililitros de retorno del diésel, cuenta con acoples y mangueras para conectarse al sistema de retorno del vehículo, para el presente estudio, se identificó el retorno en cada uno de los cuatro inyectores, se desconectaron sus respectivas mangueras y se las suspendió con acoples para la medición, posteriormente, se acoplaron las mangueras de cada probeta en los inyectores verificando su correcto ajuste para darle arranque al vehículo y realizar una medición repetida durante cierto tiempo para sacar un promedio. A través de esta prueba se puede analizar el estado del inyector y el volumen de inyección en base al volumen de retorno.

Figura 5

Kit de prueba de flujo de retorno



Fuente: Autores (2026)

➤ Manómetro PIMK-010

El manómetro digital PIMK-010 de ZAP es una herramienta de diagnóstico especializada para el sistema de presión en inyección diésel además es diseñada para monitorear con extrema precisión la baja presión de combustible y el sistema de retorno de bar, mmHg y psi, para el presente estudio, identificado el retorno de cada inyector, se acopla la manguera de la herramienta como entrada y se mantiene su actuador cerrado, una vez que se da arranque al vehículo, se abre el actuador de la herramienta para medir la presión en un tiempo de 3 a 5 segundos. A través de esta prueba se puede detectar caídas de presión por filtros obstruidos o restricciones en las líneas de succión, ofreciendo lecturas estables frente a las pulsaciones del motor.

Figura 6

Manómetro PIMK-010



Fuente: Autores (2026)

- Great Wall Poer: La camioneta utilizada está equipada con un motor que utiliza combustible diésel de inyección directa Common Rail controlado electrónicamente, por lo que emplea una bomba de alta presión y un riel común que almacena y distribuye combustible a los inyectores CRI piezoeléctricos a presiones que pueden alcanzar entre 1800 y 2200 bar, permitiendo una dosificación precisa y una óptima atomización del combustible dentro de la cámara de combustión, estas características favorecen una combustión más eficiente, reduciendo el consumo de combustible y las emisiones contaminantes. Durante las pruebas experimentales, el motor operó en régimen de ralentí, con una velocidad aproximada de 1200 rpm y una temperatura de funcionamiento cercana a 85–90 °C, condiciones necesarias para garantizar la estabilidad térmica del motor y la confiabilidad de las mediciones de presión y volumen de retorno de

combustible realizadas en los inyectores. Por otra parte, las pruebas se llevaron a cabo bajo la normativa internacional de calibración del fabricante Delphi Euro 5 parametrizada en la base de datos experimentales de los inyectores medidos por parte de Carbon Zapp, por lo que se eligió esta normativa técnica ya que establece los límites óptimos y las tolerancias de fábrica necesarias para evaluar con precisión el estado real del componente y así poder comparar los parámetros volumétricos según dicha normativa con respecto a las modificaciones basadas en disminuir y aumentar el espesor de la arandela del inyector.

Figura 7

Great Wall Poer



Fuente: Autores (2026)

- *Opacímetro BOSCH BEA 070*: Es una herramienta de diagnóstico especializada en la medición óptima, que permite determinar la opacidad de los gases de escape de motores diésel y el coeficiente de absorción luminosa a través de la cuantificación de la atenuación de un haz luminoso causada por las partículas presentes en dichos gases, permitiendo evaluar la calidad de la combustión conforme a los principios establecidos en la norma ISO 11614.

Figura 8

Opacímetro



Fuente: Autores (2026)

RESULTADOS

El presente estudio, se basa en el análisis a ralentí para comparar las variables dependientes tanto del volumen, como de la presión de retorno de los inyectores CRI 3 “DELPHI” piezoeléctricos que cumplen la normativa Euro 5. Se llevará a cabo el análisis en tres escenarios distintos solo con los cuatro inyectores “DELPHI” de la misma familia para no incurrir en variaciones de funcionamiento con otras marcas de inyectores que difieran los valores medidos y así observar si existe un cambio entre ellos, respecto a los valores de presión y volumen de retorno, además de la opacidad bajo la normativa ISO 11614 al modificar el espesor de la arandela de calibración. De modo que se pueda definir en cuál se presenta un mejor desempeño ambiental.

Los inyectores “DELPHI” en los que se realizó la parte experimental tienen valores de volumen de retorno establecidos por el fabricante en diferentes escenarios a los que se somete el vehículo, sin embargo, no se presentan valores de presión en dicha normativa. La tabla 3, muestra los valores de volumen de retorno de acuerdo a la normativa Euro 5, que son considerados el límite óptimo de funcionamiento.

Tabla 3

Volumen de retorno de acuerdo a normativa Euro 5.

Escenario	Valor	Unidad
Ralentí	20.0 +/- 20.0	ml
Plena carga	17.0 +/- 17.0	ml

Nota. Adaptado de (CARBON ZAPP, 2025).

Siguiendo la misma línea, se toma en cuenta los valores límites de opacidad establecidos por la normativa INEN 2207 y bajo la que se tomará como base para comparar cuantitativamente las emisiones que se generan en cada escenario, valores presentados en la tabla 4.

Tabla 4

Límites máximos de opacidad de emisiones para fuentes móviles con motor diésel.

Año modelo	Opacidad (%)
2000 y posteriores	50
1999 y anteriores	60

Nota. Adaptado de (INEN, 2016).

Partiendo de las normativas, en el primer escenario se realizaron las mediciones de presión y volumen de retorno sin ninguna modificación, con el espesor de arandela 2.1 mm que indica el fabricante, únicamente identificando la línea de retorno de los inyectores y conectando los equipos para medirlo, tal como se presenta en la tabla 5.

Tabla 5

Presión vs Volumen de retorno sin modificaciones, arandela de acuerdo a normativa (2.1mm).

N° Inyector	Presión (bar)	Volumen (ml)
1	0.3	4
2	0.5	6
3	0.3	5
4	0.5	6.5

Nota. Autores (2026).

Una vez medidos los valores de presión y volumen de retorno, se procedió con la medición de opacidad con el mismo espesor de la arandela, basado en el método definido por la normativa ISO 11614, como se muestra en la tabla 6.

Tabla 6

Informe opacidad con arandela (2.1mm).

N° golpe acele.	Opacidad (%)	N° rev. Ralentí	N° rev. Limit.	Tiempo acele. (seg)
K1	3.2	802	3712	0.37
K2	3.9	888	3292	0.28
Rango de opacidad		%		0.70

M. Aritmética de opacidad	%	3.55
Resultado	APROBADO	

Nota. Autores (2026).

Los dos siguientes escenarios corresponden a disminuir y aumentar el espesor de la arandela, con el fin de medir nuevamente la presión y volumen de retorno en un régimen de ralentí de los mismos inyectores “DELPHI”, además de medir nuevamente la opacidad en cada escenario para comparar las variaciones que se generan con respecto a la normativa al trabajar con inyectores de la misma familia.

Para el segundo escenario, se disminuye la arandela a un espesor de 1.5mm, el ralentí se mantuvo estable, por lo que se procedió a medir la presión y el volumen de retorno en este mismo régimen, se repitió el proceso 3 veces con el fin de sacar un promedio y ser preciso en cuanto a las mediciones, además se midió la opacidad con esta modificación, basado en el método definido por la normativa ISO 11614, tal como se muestra en la tabla 7 y 8 respectivamente.

Tabla 7

Presión vs Volumen de retorno con arandela de menor espesor (1.5mm).

Nº Inyector	Presión (bar)	Volumen (ml)
1	0.4	5
2	0.6	8
3	0.4	6
4	0.6	7

Nota. Autores (2026).

Tabla 8

Informe opacidad con arandela (1.5mm).

Nº golpe acele.	Opacidad (%)	Nº rev. Ralentí	Nº rev. Limit.	Tiempo acele. (seg)
-----------------	--------------	-----------------	----------------	---------------------

K1	3.4	814	3725	0.39
K2	4.2	872	3331	0.30
Rango de opacidad	%			0.80
M. Aritmética de opacidad	%			3.80
Resultado	APROBADO			

Nota. Autores (2026).

Para el tercer escenario, se desmontó nuevamente los inyectores para cambiar la arandela a un espesor de 3mm, al encender el motor, el ralentí era demasiado inestable y el motor presentó vibraciones, sin embargo, al dejarlo encendido por unos minutos, se estabilizó, por lo que se procedió a medir la presión y el volumen de retorno en el mismo régimen de ralentí, se repitió el proceso 3 veces con el fin de sacar un promedio y ser preciso en cuanto a las mediciones, además se midió la opacidad con esta modificación, basado en el método definido por la normativa ISO 11614, tal como se muestra en la tabla 9 y 10 respectivamente.

Tabla 9

Presión vs Volumen de retorno con arandela de mayor espesor (3mm).

Nº Inyector	Presión (bar)	Volumen (ml)
1	0.2	4.33
2	0.4	6.5
3	0.2	5.33
4	0.4	6.67

Nota. Autores (2026).

Tabla 10

Informe opacidad con arandela (3mm).

Nº golpe acele.	Opacidad (%)	Nº rev. Ralentí	Nº rev. Limit.	Tiempo acele. (seg)
------------------------	---------------------	------------------------	-----------------------	----------------------------

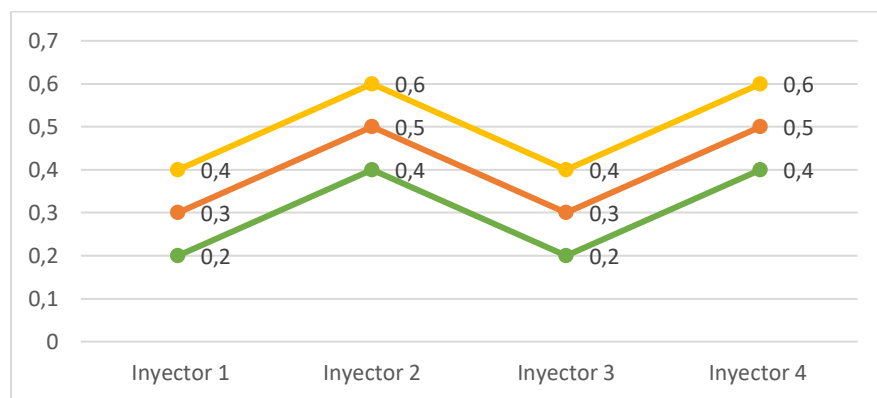
K1	5.2	809	3711	0.36
K2	5.7	887	3283	0.29
Rango de opacidad	%			0.50
M. Aritmética de opacidad	%			5.54
Resultado	APROBADO			

Nota. Autores (2026).

Al modificar el espesor de la arandela en los mismos inyectores para comparar si se evidencian cambios, se observó que al disminuir el espesor ocurre un aumento volumétrico de la cámara de control que permite mayor ingreso de diésel, por lo que la presión aumenta y en consecuencia entrega mayor cantidad de volumen de retorno al vencer al resorte en menor tiempo, además los valores de opacidad aumentan debido a que frente a alta presión la atomización mejora pero favorece a la formación de PM o hollín. Por otro lado, al aumentar el espesor de la arandela, ocurre una disminución volumétrica de la cámara de control que permite menor ingreso de diésel, por lo que la presión disminuye y en consecuencia entrega menor cantidad de volumen de retorno ya que le cuesta más tiempo en vencer al resorte, aunque no disminuyen con respecto a las pruebas en base a la normativa del fabricante, si se igualan más a dichos valores de retorno medidos en el primer escenario y los valores de opacidad aumentan considerablemente ya que el motor presentó una inestabilidad producto de una combustión deficiente frente al poco combustible efectivo y la falta de aire del ralentí y la altura.

Figura 9

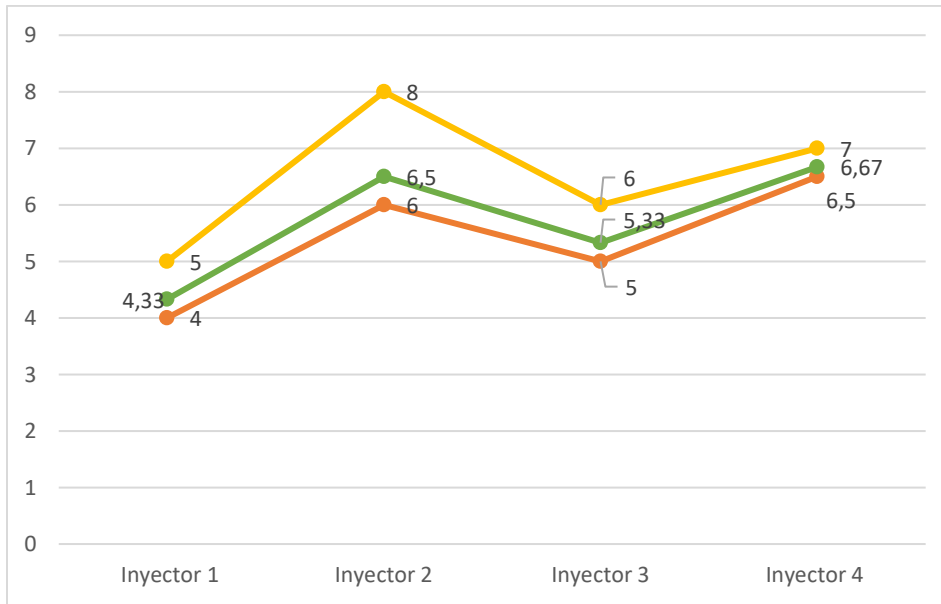
Comparativa de presión de retorno (bares).



Fuente: Autores (2026)

Figura 10

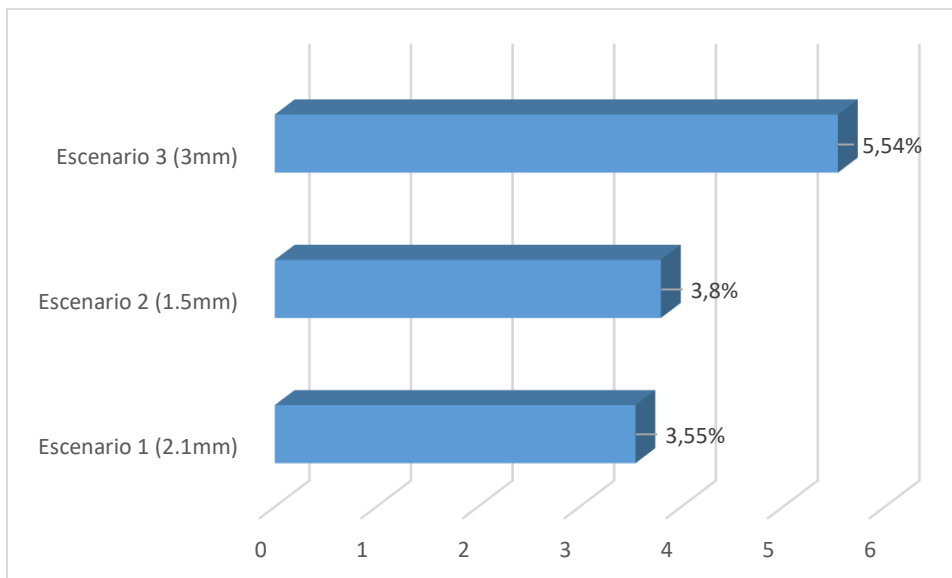
Comparativa de volumen de retorno (mililitros).



Fuente: Autores (2026)

Figura 11

Comparativa de opacidad (%).



Fuente: Autores (2026)

CONCLUSIONES

A través de las pruebas experimentales se logró medir la presión y el volumen de retorno en cada inyector conforme a los parámetros establecidos por la normativa técnica del fabricante, donde los cuatro no superan los límites óptimos de volumen permitidos (20.0/+20.0), sin embargo, se pueden evidenciar los valores específicos de funcionamiento volumétrico y los valores de presión adecuados a estos sin modificaciones con una arandela de (2.1mm), indicando una combustión eficiente y con menor incidencia en las emisiones que los dos siguiente escenarios.

Pues, al modificar el espesor de la arandela se obtuvieron variaciones. Con la arandela de menor espesor (1.5mm) aumentaron proporcionalmente los valores de presión en 1.33% y volumen de retorno en 1.25%, debido al aumento volumétrico de la cámara de control que permite mayor ingreso de diésel y por el que la presión aumenta y le toma menos tiempo en vencer al resorte y salir de la misma entregando mayor cantidad de volumen y en cuanto a la opacidad (3.80%) se registró un aumento de 0.25% producto de un escenario que favorece la formación de PM. Por otro lado, con la arandela de mayor espesor (3mm) aumentaron los valores de volumen en 1.08%, pero redujeron los valores de presión en 0.67%, debido a la disminución volumétrica de la cámara de control que permite menor ingreso de diésel y por el que a la presión le toma más tiempo vencer al resorte y salir de la misma entregando menor cantidad de volumen con respecto a la disminución de la arandela, pero mayor con respecto a los valores sin modificación y en cuanto a la opacidad (5.54%) en este escenario se registró un aumento de 1.99% producto de una combustión deficiente.

Al comparar los resultados, se evidencia que modificar el espesor de la arandela incide directamente en variaciones respecto al sistema de inyección. Disminuir el espesor de la arandela provoca mayor presión, volumen y opacidad, mientras que aumentar el espesor de la arandela provoca menor presión, pero mayor volumen y opacidad. En conclusión, los inyectores con la arandela de espesor (2.1mm) dada por la normativa Euro 5 y cumpliendo los valores límites de opacidad según la normativa INEN 2207, muestran los valores cuantitativos de funcionamiento más adecuados y con mejor desempeño ambiental que al modificar el espesor de la arandela, pues ya sea aumentándolo o disminuyéndolo, no representa una mejor eficiencia en presión de retorno, volumen de retorno y opacidad en base a los valores medidos en las tablas, afectando directamente a la combustión y las emisiones.

BIBLIOGRAFÍA

Alabajos , I. (2020). *Catalizador* . RODES .

Alcocer, K. (2024). *ANÁLISIS DEL CIRCUITO DE RETORNO EN SISTEMAS DE INYECCIÓN DIÉSEL COMMON RAIL*. Obtenido de Repositorio UTN:
<https://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/15566/2/04%20AUT%20033%20TRABAJO%20DE%20GRADO.pdf>

Alvarez , J., & Analuiza , F. (02 de abril de 2025). *Diagnóstico eléctrico y mecánico de inyectores piezoeléctricos*. Obtenido de International Journal of Advanced Research Studies : <https://doi.org/10.71316/i.j.a.r.s..v2i1.16>

Alvarez , J., & Analuiza, F. (2025). *Diagnóstico eléctrico y mecánico de inyectores piezoeléctricos*. Obtenido de International Journal of Advanced Research Studies:
<https://esparadigms.com/index.php/ijars/article/view/16>

Apolonio, J. (04 de diciembre de 2022). *INYECTOR DIÉSEL PIEZOELÉCTRICO DE VW CRAFTER 2.5 TDI COMMON RAIL*. Obtenido de uDocz:
<https://www.udocz.com/apuntes/463291/inyector-diesel-piezoelétrico-common-rail#pf9>

Archilla, F. (2016). *Cómo funciona un inyector piezoeléctrico* .

Augeri, F. (11 de septiembre de 2010). *Funcionamiento de Inyectores Piezoeléctricos*. Obtenido de CISE Electrónica: <https://www.cise.com/portal/notas-tecnicas/item/140-funcionamiento-de-inyectores-piezoelétricos.html>

Ayala, D., & Pullas, C. (agosto de 2022). *ANÁLISIS COMPARATIVO DEL DESEMPEÑO DE UN INYECTOR CRDI*. Obtenido de Repositorio UIDE:
<https://repositorio.uide.edu.ec/handle/37000/5318>

Ayora, J. (septiembre de 2017). *ANÁLISIS Y COMPROBACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE INYECTORES CRDI PIEZOELÉCTRICOS CON EL EQUIPO CRT-3500 DE KIA*. Obtenido de Repositorio UIDE: <https://repositorio.uide.edu.ec/bitstream/37000/2313/1/T-UIDE-158.pdf>

Bosch, R. (2005). *Sistema de inyección de acumulador Common Rail, Diesel*. Barcelona: REVERTÉ .

Callister , W., & Rethwisch , D. (2018). *CIENCIA E INGENIERÍA DE LOS MATERIALES* . Utah : REVERTÉ .

Castro , J., & Gonzáles , M. (2018). *Análisis comparativo del funcionamiento del inyector de un motor CRDI bajo diferentes alturas geográficas*. Obtenido de Repositorio UIDE: <https://repositorio.uide.edu.ec/bitstream/37000/3420/3/document%20%285%29.pdf>

- Cobo, G. (2013). *ANÁLISIS DE AVERÍAS EN COMPONENTES DIESEL CRDI (COMMON RAIL DIRECT INJECTION)*. Obtenido de Repositorio Universidad de Azuay : <https://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/3278>
- Coral de la Cadena, F. (2013). *DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS DE INYECTORES DE VEHÍCULOS A DIESEL CRDI PARA LA ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ*". Obtenido de Repositorio ESPOCH: <https://dspace.esPOCH.edu.ec/items/50144c19-a039-4dab-95fb-2f86a5367800>
- Cueva, L., & Erazo , D. (2021). *GESTIÓN AMBIENTAL. AIRE. VEHÍCULOS AUTOMOTORES. LIMITES PERMITIDOS DE EMISIONES PRODUCIDAS POR FUENTES MÓVILES TERRESTRES QUE EMPLEAN DIÉSEL*. SERVICIO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN (INEN).
- 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.
- Flores , O., Fabela , M., Blake , C., Vázquez , D., & Hernández , R. (2014). Regulación de emisiones contaminantes de los motores de combustión interna. *instituto Mexicano de Transporte* , 12.
- Gordillo , J., & Yépez , J. (2024). *Mantenimiento preventivo y correctivo del banco didáctico del sistema de inyección "common rail" y elaboración de un manual de uso*. . Obtenido de Repositorio Universidad de Azuay: <https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/14687/1/20205.pdf>
- Guerra, J., Guasumba , A., & Guamán, J. (2021). *La gestión de la inyección electrónica de combustible para los moteres de encendido por compresión modernos (CRDI)*. Obtenido de Dialnet: <https://dialnet.unirioja.es/>
- INSTITUTO PARA LA SALUD GEOAMBIENTAL . (2022). *INSTITUTO PARA LA SALUD GEOAMBIENTAL* . Obtenido de INSTITUTO PARA LA SALUD GEOAMBIENTAL : <https://www.saludgeoambiental.org/dioxido-carbono-co2/#:~:text=El%20principal%20efecto%20que%20produce,concentraci%C3%B3n%20por%20debajo%20del%2020%25>.
- López, J. (10 de Agosto de 2022). *ECOCIENCIA*. Obtenido de ECOCIENCIA: https://revistas.ecotec.edu.ec/index.php/ecociencia/article/view/693?utm_source=chatgpt.com
- Meganeboy, D. (2001). *Inyector Piezoeléctrico*. Obtenido de Mecánica Virtual: http://www.mecanicavirtual.org/common_rail5.htm
- Mesías, J. (2022). *Sistema de alimentación Common Rail*. Obtenido de Repositorio UNE: <https://repositorio.une.edu.pe/entities/publication/dd327a78-2a5b-4b9a-b1c4-7aa4902f7fc4>

- Nepas , A., & Gaspar, J. (2025). *Repositorio UIDE*. Obtenido de <https://repositorio.uide.edu.ec/handle/37000/8580>
- Neppas, J., & Torres, R. (septiembre de 2023). *DIAGNÓSTICO ELECTRÓNICO Y MECÁNICO DE INYECTORES PIEZOELÉCTRICOS*. Obtenido de Repositorio UTN: <https://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/14782>
- Noboa, A. (2019). *INVESTIGACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO Y ELECTRÓNICO DE LOS INYECTORES BOSCH “0445120289” Y “0445110250” DEL SISTEMA COMMON RAIL*. Obtenido de Repositorio UIDE : <https://repositorio.uide.edu.ec/bitstream/37000/2892/1/T-UIDE-220.pdf>
- Obert , E. (1997). *MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA*. MÉXICO : CONTINENTAL S.A .
- OPS. (2024). *Organización Panamericana de la Salud* . Obtenido de Organización Panamericana de la Salud : https://www.paho.org/es/temas/calidad-aire?utm_source=chatgpt.com
- ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD . (2021). *EFFECTO INVERNADERO* . OMS .
- Simbaña, B. (2023). *IDENTIFICACIÓN DEL ESTADO DE LOS INYECTORES ELECTRÓNICOS DE MOTORES DIÉSEL A BASE DE PRESIONES DE FUNCIONAMIENTO*. Obtenido de Repositorio UTN: https://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/14001/2/04%20MAUT%20229%20TRABAJO%20GRADO.pdf?utm_source=chatgpt.com
- SmartWay . (2019). *Idle reduction for shippers* . Obtenido de EPA U.S ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY : <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyNET.exe/P100X04O.TXT?ZyActionD=ZyDocument&Client=EPA&Index=2016+Thru+2020&Docs=&Query=&Time=&EndTime=&SearchMethod=1&TocRestrict=n&Toc=&TocEntry=&QField=&QFieldYear=&QFieldMonth=&QFieldDay=&IntQFieldOp=0&ExtQFieldOp=0&XmlQuery=>
- 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.

ANEXOS

ANEXOS INTRODUCCIÓN

Anexo 1. Objetivo general

Comparar el comportamiento de inyectores CRI 3 piezoeléctricos en cuanto a la relación presión vs volumen de retorno de combustible, utilizando equipos de medición calibrados, con el fin de determinar su incidencia en las emisiones generadas, conforme a la normativa vigente.

Fuente: Autores (2026)

Anexo 2. Objetivos específicos

- Analizar bibliográficamente el funcionamiento de los inyectores CRI 3 y su influencia en las emisiones producidas.
- Medir la presión y el volumen de retorno de combustible en los inyectores CRI 3, en un régimen de ralentí, conforme a los parámetros establecidos por la normativa técnica.
- Analizar la relación entre la presión y el volumen de retorno en cada inyector, comparando en una tabla los resultados obtenidos entre ellos para establecer cuál presenta un mejor desempeño ambiental.

Fuente: Autores (2026)

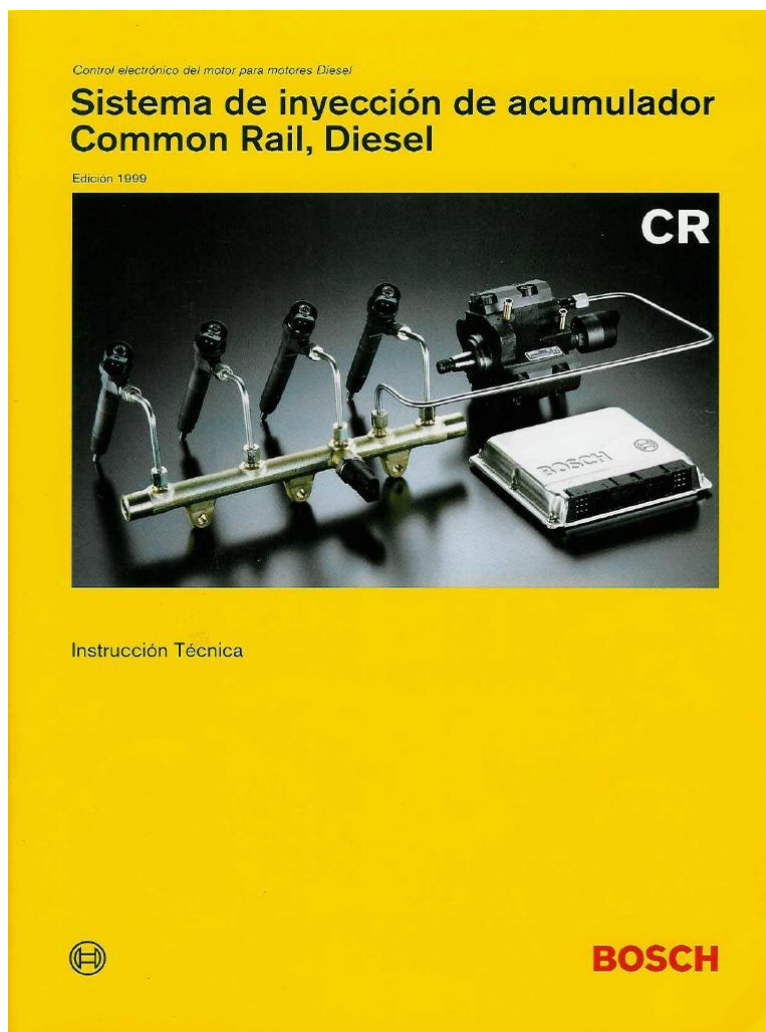
Anexo 3. Fundamentación del problema

En el contexto actual de la industria automotriz, la reducción de emisiones contaminantes es una prioridad debido a la creciente preocupación por el cambio climático, las regulaciones ambientales más estrictas y la necesidad de optimizar el rendimiento energético de los motores diésel. En dicho contexto, la presente investigación se enfoca en la comparación de dos inyectores piezoeléctricos CRI generación 3 nuevos y modificados, a través de un análisis basado en una tabla presión vs volumen, conforme a lo establecido por la normativa técnica vigente. Para ello, se utilizará un equipo encargado de la medición de presión de retorno, así como un equipo especializado para obtener datos precisos sobre el volumen de retorno de combustible en cada inyector. La cantidad de combustible que no es inyectado y retorna al tanque, es un parámetro que será medido en condiciones de ralentí, ya que es el peor escenario para el motor y con ello, se logrará determinar el comportamiento de los inyectores en su funcionamiento estándar con respecto a modificaciones en el espesor de la arandela de calibración.

Fuente: Autores (2026)

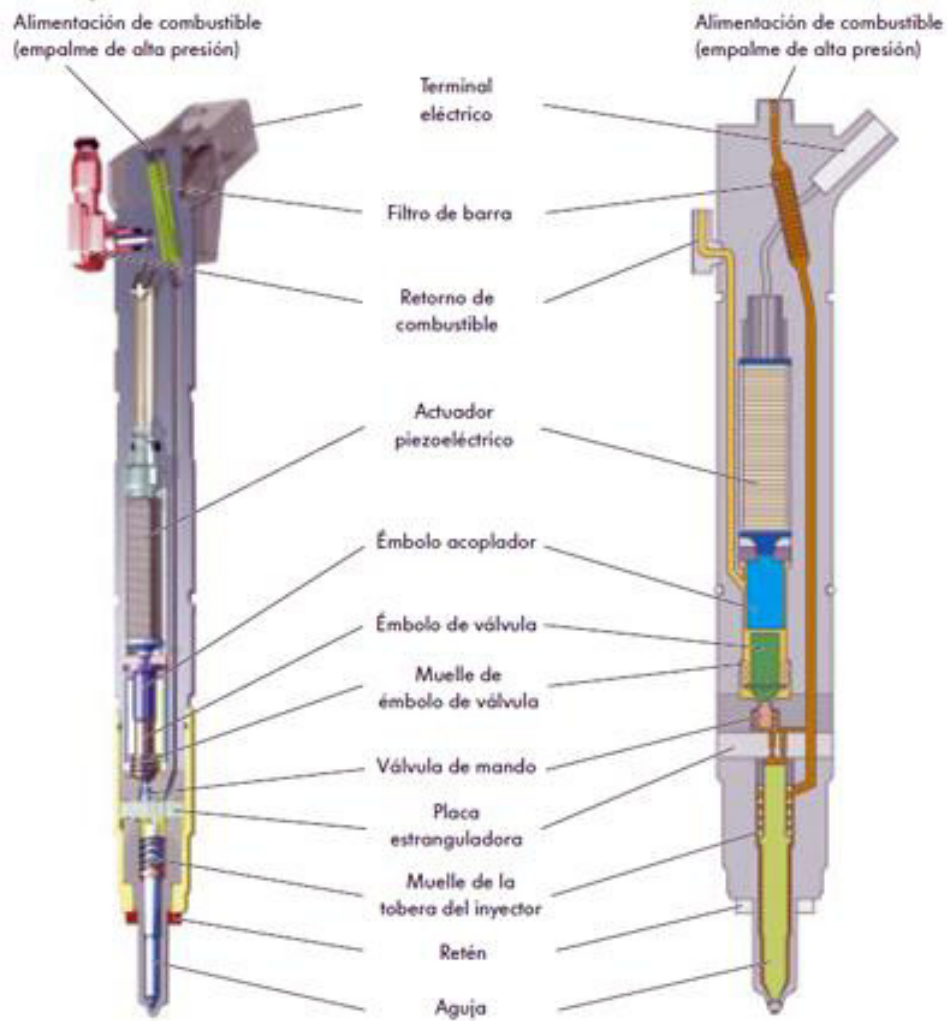
ANEXOS FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

Anexo 4. Sistema de inyección de acumulador Common Rail, Diesel



Fuente: Bosch, R. (2005)

Anexo 5. Componentes inyector piezoeléctrico



Fuente: Meganeboy, D. (2001)

Anexo 6. DIAGNÓSTICO ELECTRÓNICO Y MECÁNICO DE INYECTORES PIEZO ELÉCTRICOS



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ.

TEMA: DIAGNÓSTICO ELECTRÓNICO Y MECÁNICO DE
INYECTORES PIEZO ELÉCTRICOS

AUTORES:

Neppas Arias Jhonatan David

Torres Benavides Carlos Rodolfo

DIRECTOR:

Ing. Jorge Luis Melo Obando Msc.

Ibarra, 2023

Fuente: Neppas, J., & Torres, R. (septiembre de 2023)

Anexo 7. Investigación del comportamiento mecánico y electrónico de los inyectores Bosch
“0445120289” y “0445110250” del sistema Common Rail.

Universidad Internacional Del Ecuador



Facultad de Ingeniería Mecánica Automotriz

Proyecto de grado para la obtención del Título de Ingeniería en Mecánica Automotriz

**Investigación del comportamiento mecánico y electrónico de los inyectores Bosch
“0445120289” y “0445110250” del sistema Common Rail.**

Noboa Asencio Anthony Bryan

Director: Ing. Adolfo Peña Pinargote Msc.

Guayaquil, Enero 2019

Fuente: Noboa A. (2019)

Anexo 8. IDENTIFICACIÓN DEL ESTADO DE LOS INYECTORES ELECTRÓNICOS DE MOTORES DIÉSEL A BASE DE PRESIONES DE FUNCIONAMIENTO.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO
AUTOMOTRIZ**

**TEMA: IDENTIFICACIÓN DEL ESTADO DE LOS INYECTORES
ELECTRÓNICOS DE MOTORES DIÉSEL A BASE DE PRESIONES
DE FUNCIONAMIENTO.**

AUTOR:

BRYAN FERNANDO SIMBAÑA CHORLANGO

DIRECTOR:

ING. HERNÁNDEZ RUEDA ERIK PAÚL MSc.

IBARRA 2023

Fuente: Simbaña, B. (2023)

Anexo 9. Análisis Comparativo del Desempeño de un inyector CRDI mediante el Equipo de Diagnostico Bosch EPS 205.

Universidad Internacional del Ecuador



Facultad de Ingeniería Mecánica Automotriz

Trabajo de Integración Curricular

Artículo Investigación para la obtención del Título de Ingeniería en Mecánica Automotriz

Análisis Comparativo del Desempeño de un Inyector CRDI mediante el Equipo de Diagnostico Bosch EPS 205

David Alexis Ayala Bedoya

Carlos Andrés Pullas Cisneros

Director:

Ing. Denny Guanuche

Quito, Agosto 2022

Fuente: Ayala, D., & Pullas, C. (agosto de 2022)

Anexo 10. Mantenimiento preventivo y correctivo del banco didáctico del sistema de inyección
"common rail" y elaboración de un manual de uso



Universidad del Azuay
Facultad de ciencia y tecnología
Tecnología superior en electrónica automotriz

Título del Trabajo de Titulación:

Mantenimiento preventivo y correctivo del banco didáctico del sistema de
inyección "common rail" y elaboración de un manual de uso.

Trabajo previo a la obtención del título de Tecnólogo Superior en
Electrónica Automotriz

Nombres y Apellidos:

Juan Carlos Gordillo Guzhñay.
José Mauricio Yépez Idrovo.

Director:

Ing. Efrén Esteban Fernández Palomeque.

Cuenca – Ecuador

2024

Fuente: (Gordillo & Yépez , 2024).

**Anexo 11. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS DE
INYECTORES DE VEHÍCULOS A DIESEL CRDI PARA LA ESCUELA DE INGENIERÍA
AUTOMOTRIZ**



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO
DE PRUEBAS DE INYECTORES DE VEHÍCULOS
A DIESEL CRDI PARA LA ESCUELA DE
INGENIERÍA AUTOMOTRIZ”**

CORAL DE LA CADENA FABIÁN ALEJANDRO

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

RIOBAMBA – ECUADOR

2013

Fuente: Coral de la Cadena, F. (2013)

**Anexo 12. ANÁLISIS Y COMPROBACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE INYECTORES
CRDI PIEZOELÉCTRICOS CON EL EQUIPO CRT-3500 DE KIA**



**UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA EN MECÁNICA AUTOMOTRIZ**

TEMA:

**ANÁLISIS Y COMPROBACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE INYECTORES CRDI
PIEZOELÉCTRICOS CON EL EQUIPO CRT-3500 DE KIA**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO EN MECÁNICA AUTOMOTRIZ**

AUTOR:

JOSÉ LUIS AYORA RIVERA

GUAYAQUIL, SEPTIEMBRE 2017

Fuente: Ayora, J. (septiembre de 2017).

ANEXOS MATERIALES Y MÉTODOS

Anexo 13. Great Wall Poer



Fuente: Autores (2026).

Anexo 14. Probetas medidoras de volumen.



Fuente: Autores (2026).

Anexo 15. Manómetro de presión de retorno de combustible



Fuente: Autores (2026).

Anexo 16. Inyector Piezoeléctrico



Fuente: Autores (2026).

Anexo 17. Arandela de espesor original



Fuente: Autores (2026).

Anexo 18. Arandela de espesor fina



Fuente: Autores (2026).

Anexo 19. Arandela de espesor ancho



Fuente: Autores (2026).

Anexo 20. Formato Prueba de Opacidad.

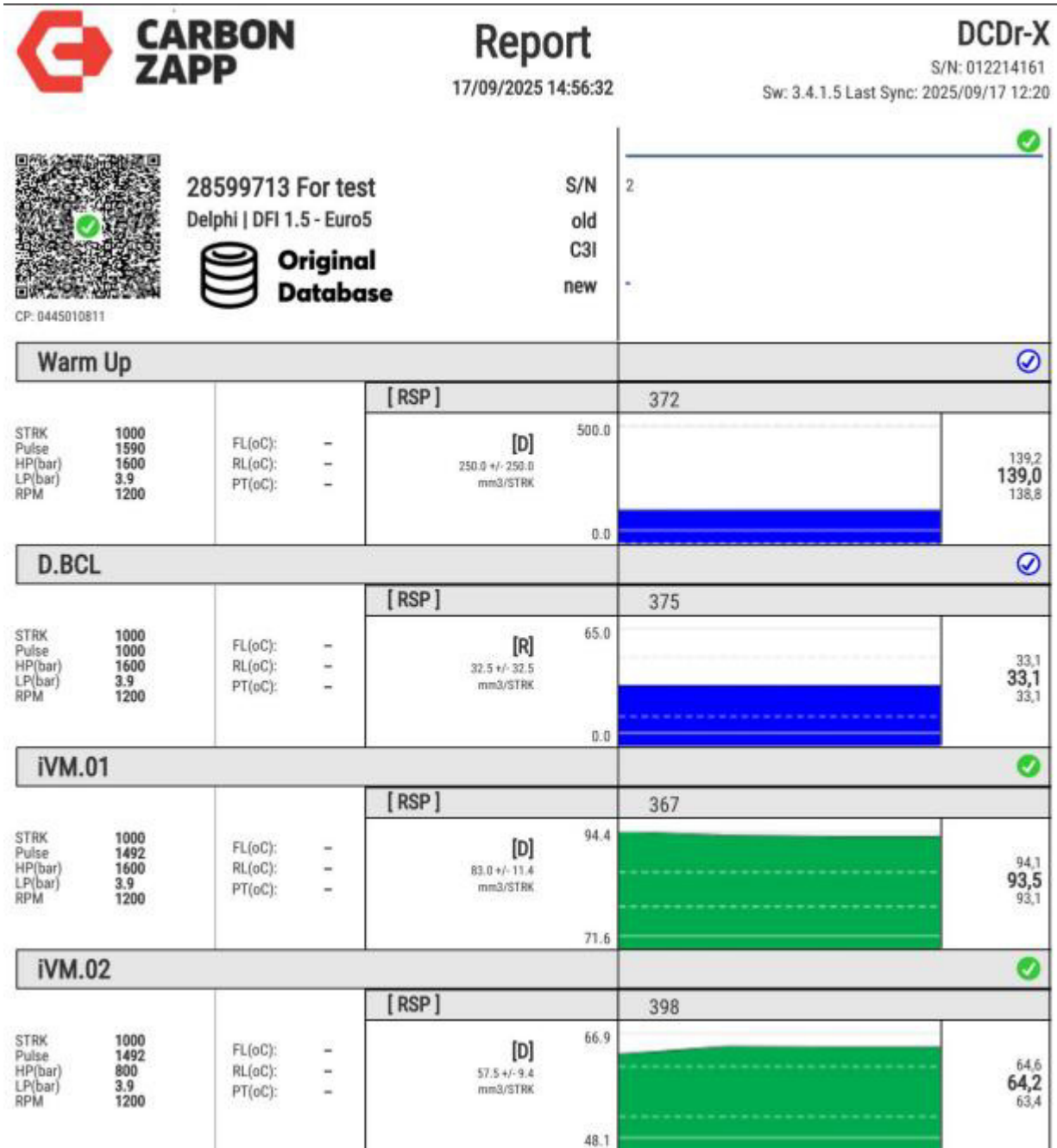
Fuente: EUDIESEL (2026).

Anexo 21. Parámetros de acuerdo a la normativa del fabricante.

	CARBON ZAPP	Report	DCDr-X
17/09/2025 14:56:32		S/N: 012214161	
Sw: 3.4.1.5 Last Sync: 2025/09/17 12:20			
Workshop Diesel SA Panamericana sur km 7 - Quito dgilascano@gmail.com +593 9985269970		Customer	
			
		28599713 For test Delphi DFI 1.5 - Euro5	
CP: 0445010811		S/N 2 old C3I new	
		Original Database	
eRL			
STRK 1000 Pulse 900		FL(oC): - RL(oC): - PT(oC): -	
		[IND] 120.0 80.0 +/- 40.0 uH 40.0	
		[RSP]	
		[RES] 0.6 0.3 +/- 0.2 Ohm 0.1	
		94,1 94,1 94,1	
		0,2 0,2 0,2	
FL(W) : SKIPPED			
LKT.01			
STRK 1000 HP(bar) 200 LP(bar) 3.9 RPM 1200		FL(oC): - RL(oC): - PT(oC): -	
		Visual	
		[R] 40.0 20.0 +/- 20.0 ml/min 0.0	
		0,0 0,0 0,0	
LKT.02			
STRK 1000 HP(bar) 1600 LP(bar) 3.9 RPM 1200		FL(oC): - RL(oC): - PT(oC): -	
		Visual	
		[R] 34.0 17.0 +/- 17.0 ml/min 0.0	
		2,8 2,7 2,6	

Fuente: Carbon Zapp (2025).

Anexo 22. Parámetros de acuerdo a la normativa del fabricante.



Fuente: Carbon Zapp (2025).

Anexo 23. Parámetros de acuerdo a la normativa del fabricante.

iVM.03			
		[RSP]	399
STRK	1000	FL(oC): - RL(oC): - PT(oC): - [D] 10.2 +/- 8.0 mm3/STRK	18.2
Pulse	553		
HP(bar)	800		
LP(bar)	3.9		
RPM	1200		

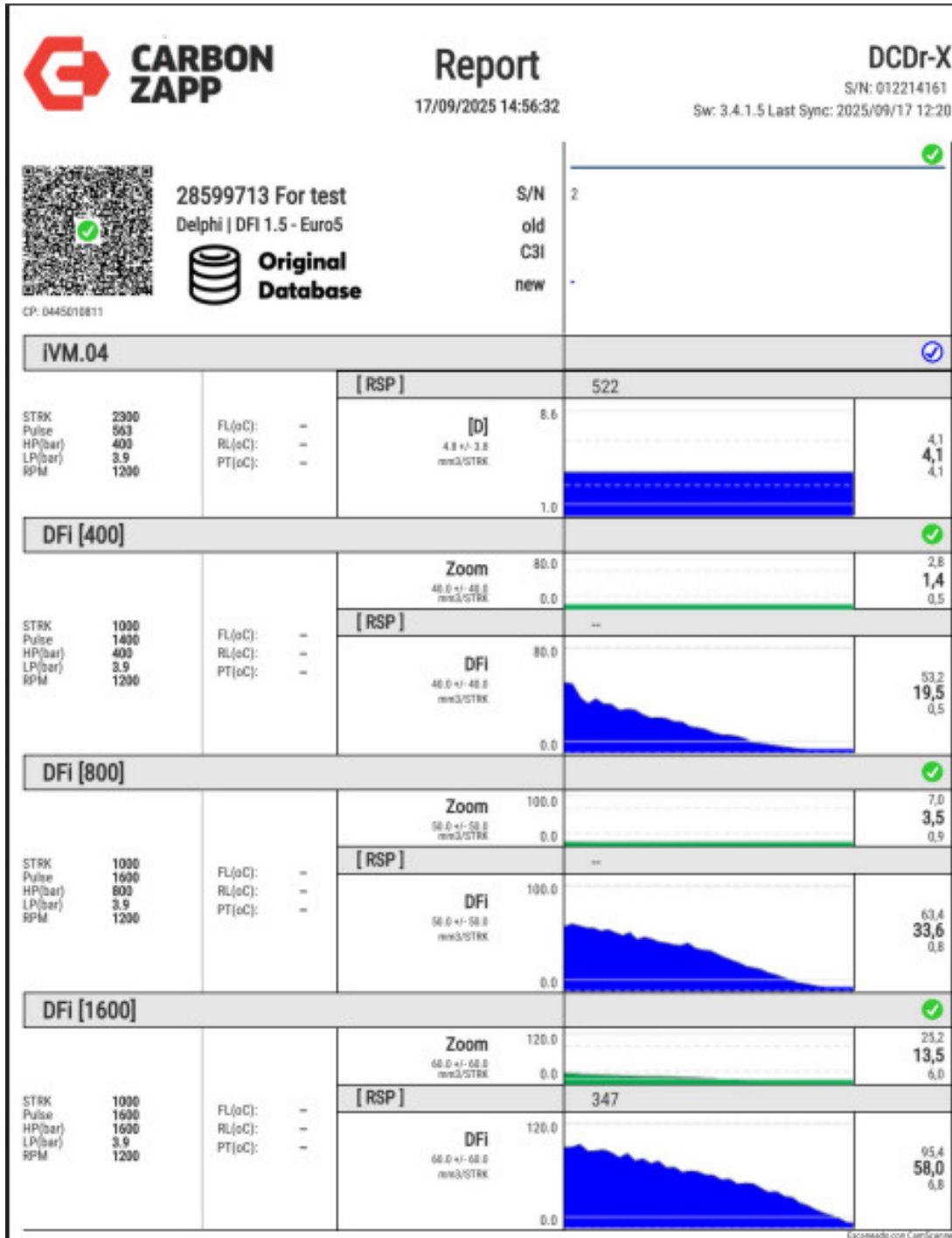
Escaneado con CamScanner

		2.2	
			11,8
			11,8
			11,8

Page 2/5

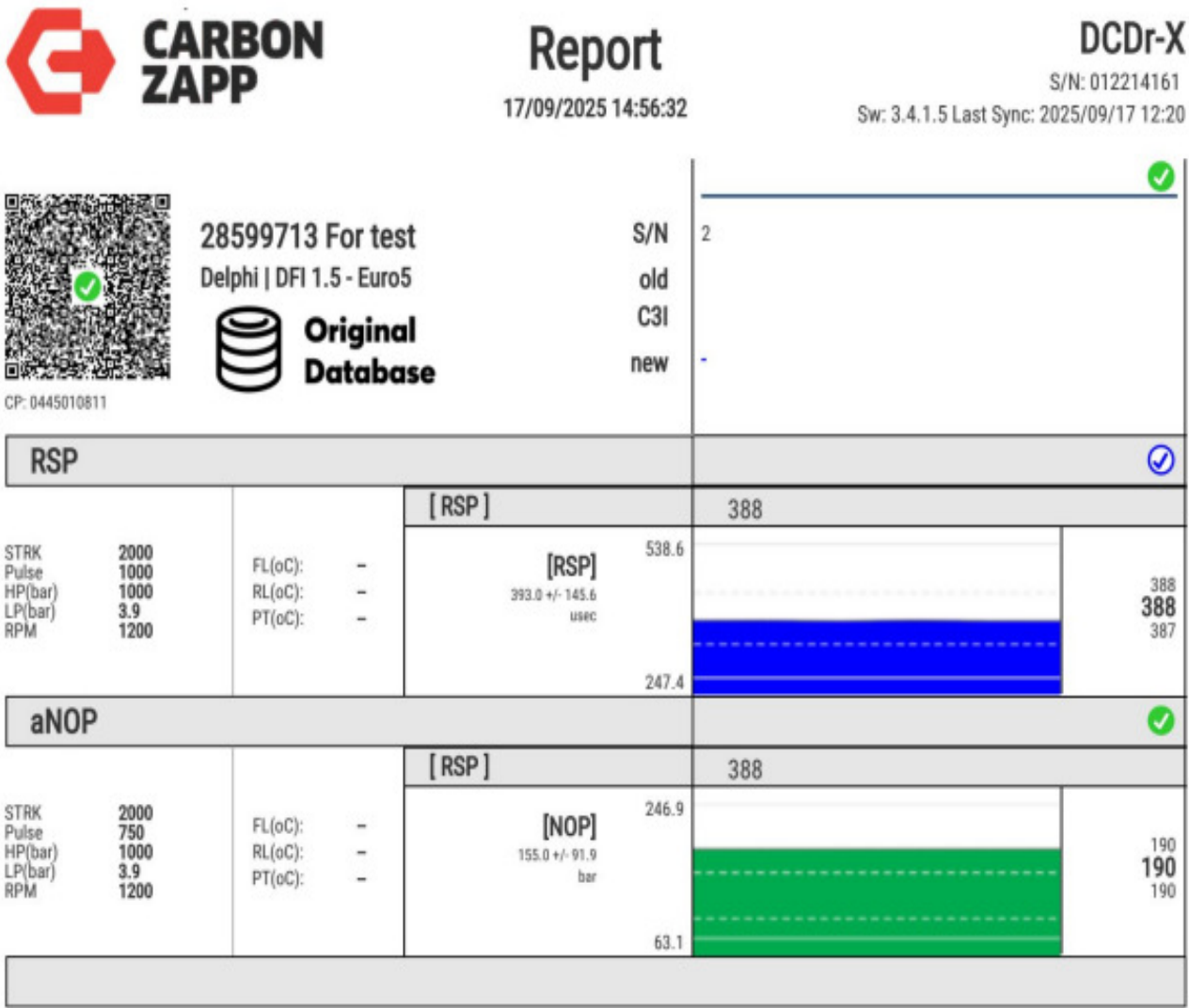
Fuente: Carbon Zapp (2025).

Anexo 24. Parámetros de acuerdo a la normativa del fabricante.



Fuente: Carbon Zapp (2025).

Anexo 25. Parámetros de acuerdo a la normativa del fabricante.



Fuente: Carbon Zapp (2025).

Anexo 26.

Tabla 3

Volumen de retorno de acuerdo a normativa

Escenario	Valor	Unidad
Ralentí	20.0 +/- 20.0	ml
Plena carga	17.0 +/- 17.0	ml

Nota. Adaptado de (CARBON ZAPP, 2025).

Anexo 27. Medición de volumen de retorno sin modificaciones



Fuente: Autores (2026).

Anexo 28. Medición de presión de retorno sin modificaciones.



Fuente: Autores (2026).

Anexo 29.

Tabla 4

Presión vs Volumen de retorno sin modificaciones, arandela de acuerdo a normativa (2.1mm).

N° Inyector	Presión (bar)	Volumen (ml)
1	0.3	4
2	0.5	6
3	0.3	5
4	0.5	6.5

Nota. Autores (2026).

Anexo 30.

Tabla 6

Informe opacidad con arandela (2.1mm).

Nº golpe acele.	Opacidad (%)	Nº rev. Ralentí	Nº rev. Limit.	Tiempo acele. (seg)
K1	3.2	802	3712	0.37
K2	3.9	888	3292	0.28
Rango de opacidad		%		0.70
M. Aritmética de opacidad		%		3.55
Resultado		APROBADO		

Nota. Autores (2026).

Anexo 31. Medición de volumen de retorno con modificación arandela (1.5mm)



Fuente: Autores (2026).

Anexo 32. Medición de presión de retorno con modificación arandela (1.5mm)



Fuente: Autores (2026).

Anexo 33.

Tabla 5

Presión vs Volumen de retorno con arandela de menor espesor (1.5mm).

Nº Inyector	Presión (bar)	Volumen (ml)
1	0.4	5
2	0.6	8
3	0.4	6
4	0.6	7

Nota. Autores (2026).

Anexo 34.

Tabla 8

Informe opacidad con arandela (1.5mm).

Nº golpe acele.	Opacidad (%)	Nº rev. Ralentí	Nº rev. Limit.	Tiempo acele. (seg)
K1	3.4	814	3725	0.39
K2	4.2	872	3331	0.30
Rango de opacidad		%		0.80
M. Aritmética de opacidad		%		3.80
Resultado		APROBADO		

Nota. Autores (2026).

Anexo 35. Medición de volumen de retorno con modificación arandela (3mm)



Fuente: Autores (2026).

Anexo 36. Medición de presión de retorno con modificación arandela (3mm)



Fuente: Autores (2026).

Anexo 37.

Tabla 6

Presión vs Volumen de retorno con arandela de mayor espesor (3mm).

Nº Inyector	Presión (bar)	Volumen (ml)
1	0.2	4.33
2	0.4	6.5
3	0.2	5.33
4	0.4	5.5

Nota. Autores (2026).

Anexo 38.

Tabla 10

Informe opacidad con arandela (3mm).

Nº golpe acele.	Opacidad (%)	Nº rev. Ralentí	Nº rev. Limit.	Tiempo acele. (seg)
K1	5.2	809	3711	0.36
K2	5.7	887	3283	0.29
Rango de opacidad		%		0.60
M. Aritmética de opacidad		%		5.54
Resultado		APROBADO		

Nota. Autores (2026).

Anexo 39. Medición de opacidad



Fuente: Autores (2026).

Anexo 40. Medición de opacidad



Fuente: Autores (2026).