



Optimización del rendimiento del motor a diesel Mercedes Benz sprinter mediante la mejora de inyectores electromagnéticos

Performance optimisation of the Mercedes Benz sprinter diesel engine by upgrading electromagnetic injectors

Optimização do desempenho do motor diesel Sprinter da Mercedes Benz através da modernização de inyectores electromagnéticos

Gustavo Rodrigo Asqui Santillán ^I
gustavo.asqui@istcarloscisneros.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0001-8715-4704>

Edwin Aníbal Pilamunga Agualongo ^{II}
Edwin.pilamunga@carloscisnerosrio.onmicrosoft.com
<https://orcid.org/0000-0001-8715-4705>

Carlos Armando Mejía Lara ^{III}
carlos.mejia@istcarloscisneros.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0001-8715-4706>

Elvis Danilo Villalba Moya ^{IV}
elvis.villalba@istcarloscisneros.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0001-8715-4707>

Correspondencia: gustavo.asqui@istcarloscisneros.edu.ec

***Recibido:** 30 de Septiembre de 2021 ***Aceptado:** 30 de Octubre de 2021 * **Publicado:** 26 de Noviembre de 2021

- I. Tecnólogo en Mantenimiento y Reparación de Motores Diésel y Gasolina, Instituto Superior Tecnológico Carlos Cisneros, Riobamba, Ecuador.
- II. Ingeniero Automotriz, Magister en transporte y logística, Instituto Superior Tecnológico Carlos Cisneros, Riobamba, Ecuador.
- III. Tecnólogo en Mantenimiento y Reparación de Motores Diésel y Gasolina, Instituto Superior Tecnológico Carlos Cisneros, Riobamba, Ecuador.
- IV. Ingeniero Automotriz, Instituto Superior Tecnológico Carlos Cisneros, Riobamba, Ecuador.

Resumen

El presente trabajo fue desarrollado en el laboratorio de mecánica automotriz del Instituto Tecnológico Superior Carlos Cisneros de la ciudad de Riobamba-Ecuador, el mismo que cuenta con un banco de pruebas para inyectores electrónicos multi-marcas. A través del uso de este equipamiento se logró la reparación de los inyectores electromagnéticos de Inyección Directa por Conducto Común (CDRI) del camión Mercedes Benz Sprinter 415 del año 2003. Para el desarrollo de este proyecto se utilizó el método descriptivo que permitió recoger y analizar los resultados a través de la observación a las fichas técnicas obtenidas en el estudio, es decir se tomó muestras en el banco de pruebas DONGTAI CR-318S antes de la reparación lo que permitió evidenciar valores fuera del rango establecido en los manuales de fabricación de los inyectores lo cual evidenció el daño en cada uno de los inyectores electromagnéticos. Una vez analizados y detectados los desperfectos se procedió a reparar los inyectores logrando un mejor rendimiento en el motor evidenciando menor consumo de combustible, además de la disminución del humo del tubo de escape el cual fue medido a través del opacímetro cuyos valores también fueron analizados previos a la reparación.

Palabras clave: Inyectores electromagnéticos; CRDI; opacímetro; banco de pruebas.

Abstract

The present work was developed in the automotive mechanics laboratory of the Carlos Cisneros Higher Technological Institute of the city of Riobamba Ecuador, which has a test bench for multi-brand electronic injectors. Through the use of this equipment, the repair of the electromagnetic injectors of Direct Injection by Common Duct (CDRI) of the Mercedes Benz Sprinter 415 truck of the year 2003 was achieved. For the development of this project, the descriptive method was used that allowed to collect and analyze the results through the observation of the technical sheets obtained in the study, that is, samples were taken on the DONGTAI CR 318S test bench before the repair, which allowed to evidence values outside the range established in the manufacturing manuals of the injectors which evidenced the damage in each of the electromagnetic injectors. Once the damages were analyzed and detected, the injectors were repaired achieving better performance in the engine evidencing lower fuel consumption, in addition to the decrease in exhaust smoke which was measured through the opacimeter whose values were also analyzed prior to repair.

Keywords: Electromagnetic injectors; CRDI; opacimeter; test bench.

Resumo

Este trabalho foi realizado no laboratório de mecânica automóvel do Instituto Tecnológico Superior Carlos Cisneros na cidade de Riobamba-Ecuador, que dispõe de um banco de ensaios para inyectores electrónicos multimarcas. Através da utilização deste equipamento, foi conseguida a reparação dos inyectores electromagnéticos da Injecção Directa de Linha Comum (CDRI) do camião Mercedes Benz Sprinter 415 2003. Para o desenvolvimento deste projecto, foi utilizado o método descritivo para recolher e analisar os resultados através da observação dos dados técnicos obtidos no estudo, ou seja, foram recolhidas amostras no banco de ensaio DONGTAI CR-318S antes da reparação, o que permitiu encontrar valores fora da gama estabelecida nos manuais de fabrico dos inyectores, que mostraram os danos causados a cada um dos inyectores electromagnéticos. Uma vez analisados e detectados os defeitos, os inyectores foram reparados, conseguindo-se um melhor desempenho do motor e um menor consumo de combustível, bem como uma redução do fumo de escape, que foi medido utilizando o opacímetro, cujos valores também foram analisados antes da reparação.

Palavras-chave: Inyectores electromagnéticos; CRDI; opacímetro; banco de ensaio.

Introducción

En la actualidad los vehículos con motor a diésel se encuentran en la mira debido a que cada vez es más probable la intrusión en el mercado de automóviles eléctricos con autonomía competitiva, buen rendimiento y emisiones contaminantes nulas (Aguilera Roldán, 2017). Es así como el proceso de combustión en un motor a diésel está ligado a parámetros como el rendimiento, las emisiones de los gases de escape y el nivel de ruido, los mismos que dependen en gran medida del diésel al ser inyectado o pulverizado a alta presión en la cámara combustión (Soto-Chicoma, 2019).

Al incrementar la presión de inyección aumenta la velocidad con la que se inyecta el combustible y, por tanto, su cantidad de movimiento. Este fenómeno facilita la atomización, vaporización y mezcla del combustible con el aire de forma que disminuye el tiempo de combustión. El resultado directo de este hecho es un incremento de la liberación de calor, de la

presión media indicada (y, por tanto, una reducción del consumo) y de la temperatura máxima del ciclo que acarreará un incremento en la formación de (Óxido de Nitrógeno) NO_x pero un descenso en la formación de hollín (Aguilera-Roldán, 2017; Payri - González & Desantes - Fernández, 2011).

De acuerdo con Parera (1996) la calidad de la mezcla depende de los siguientes criterios:

Inicio de la inyección

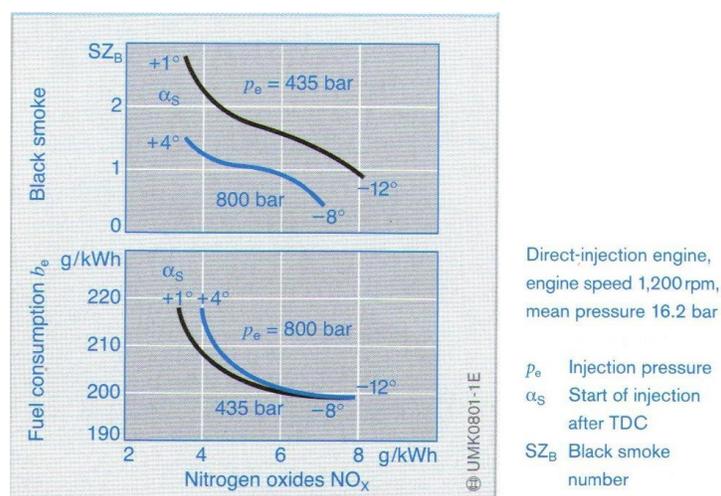
Este proceso se realiza de la siguiente manera:

- La entrega de la mezcla aire-combustible en el tiempo de admisión dentro de la cámara de combustión, es responsable de la correcta combustión en los diferentes ciclos de funcionamiento del motor.
- La atomización del combustible permite hacer que la superficie de contacto con el aire caliente comprimido en la cámara sea más amplia (Castillejo, 2014).

Curva de inyección y duración de la inyección

La curva de inyección está en función de la presión generada en el riel de inyección y el consumo del motor como se muestra en la Figura 1, que produce una cantidad de partículas en las emisiones de los gases, es así, que el avance de la inyección se debe ajustar a la velocidad del motor para generar una máxima eficiencia (Castillejo, 2014).

Figura N° 1: Curva de inyección



Fuente: Castillejo (2014)

Número de inyecciones

La cantidad de combustible puede quedar determinada según la necesidad del motor, en ralentí o a mayores revoluciones, es decir, a bajas rpm el motor se puede detener mientras que a altas rpm puede elevar la temperatura de este, afectando su rendimiento y el desgaste prematuro del mismo (Castillejo, 2014).

Los motores diésel de combustión interna trabajan mucho tiempo con dos cargas parciales, lo que disminuye su rendimiento efectivo e incrementa su consumo de combustible. El trabajo en vacío hace que el consumo de combustible del motor aumenta hasta en 20 -25% con respecto al que tiene altas cargas (Lira - Cacho & García-Ortiz, 2018).

Los sistemas de inyección de tipo separado están formados por una bomba de inyección, una línea de alta presión (LAP) y un inyector cerrado.

El inyector está conformado por elementos fabricados para soportar altas presiones que genera el sistema y dar una entrega exacta de combustible en el momento adecuado según las revoluciones del motor, siempre gobernado por la computadora (ECU), ante lo cual se plantea la investigación para analizar, determinar el problema de los inyectores y realizar su respectiva reparación, para ello se considera las nuevas tecnologías en sistemas de inyección diésel (Coral, 2013). Se valorará además el diagnóstico de los inyectores CRDI, para detectar fallas y las respectivas reparaciones (Reyes - Cualchi, 2018).

Causa de falla en los inyectores

Se presume como falla colateral la impregnación de carbón, producido por la combustión que realiza el motor durante su funcionamiento, en los inyectores la generación de suciedad, concentración de barniz y depósitos de carbón es muy frecuente (Lizarte, 2018) como problemas más comunes en los inyectores CRDI:

- Bloqueo de la aguja y la suciedad en el asiento.
- Obstrucción de los orificios y pérdida de presión.
- Sobre revoluciones al motor.
- Daños en las terminales de conexión de los inyectores.

Síntomas de fallo de un inyector

- Problemas de encendido, revoluciones irregulares e inestables.

- Descenso considerable en la potencia del motor, cuya velocidad máxima queda bastante limitada.
- Olor a combustible en el interior del habitáculo, los inyectores presentan un desgaste u obstrucción.
- Exceso de retorno de combustible (Lizarte, 2018).

Es así como en esta investigación se analiza a los inyectores del Mercedes Benz Sprinter 415 año 2003, el cual tiene un novedoso sistema de inyección diésel Common Rail o sistema de conducto común CRDI. Este sistema de conducto común (CRDI) consta de cuatro componentes principales que son la ECU, Bomba de alta y baja, Riel común (Tigre Sangurima & Villa Cayambe, 2015) e inyectores, siendo este último nuestro tema a investigar.

Cabe mencionar que los motores a diésel dependen del proceso de combustión ya que están fuertemente ligados a los parámetros fundamentales que caracterizan la inyección del combustible. Se debe tener presente que en los motores diésel se quema una mezcla heterogénea que comienza a formarse dentro del cilindro desde el momento que se inyecta la primera gota de combustible, una vez producido el autoencendido y el período de rápida combustión, admisión, compresión y escape, la velocidad con que actúa todo el proceso está condicionado en función del ciclo de funcionamiento (Calle, 2014).

Por consiguiente, el desarrollo de este proyecto se basa en la optimización del motor a diésel Mercedes Benz Sprinter 415 año 2003, mediante la reparación de los inyectores electromagnéticos, este trabajo se desarrolla una vez que se ha verificado el estado del motor en el cual se evidencia la poca eficiencia, estabilidad e incremento de la temperatura en el motor, además del exceso de dióxido de carbono emitido por el tubo de escape y la fuga de combustible.

Una vez analizado el problema se procede a la reparación de los inyectores lo que permite la reutilización de los mismos a más de la bomba de inyección, elementos que son importantes debido a que se encargan de pasar el combustible desde el riel de inyección hasta la cámara de combustión, con este trabajo se logra optimizar el rendimiento del motor, lo cual se evidencia con la disminución del consumo del combustible y la reducción de las emisiones de dióxido de carbono CO₂ del tubo de escape, además se contribuye a la disminución de la contaminación ambiental producida por los del vehículo antes mencionado.

En los motores diésel, los gases de escape se pueden reducir en gran parte mediante la reparación de los inyectores para cumplir con la normativa que exige el ente regulador (INEN), donde establecen los valores máximos de emisiones permitidas para este tipo de motores, como se indica en la tabla 1.

Cuadro N° 1: Límites máximos de opacidad de emisiones para fuentes móviles con motor diésel (prueba de aceleración libre)

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

Fuente: INEN (2009)

Metodología

En el desarrollo de este proyecto se utilizó el método descriptivo que es usado para recoger, presentar y analizar los resultados de las observaciones. Este método implica la recopilación y presentación sistemática de datos cuyo objetivo es describir el comportamiento de un número de variables.

Para alcanzar el objetivo de este trabajo se siguieron los siguientes pasos:

- Observar externamente al inyector e identificar la fuga.
- Se retira a los inyectores del cabezote que se ingresó al banco de pruebas.
- Determinar los equipos e instrumentos para la recolección de datos.
- Se procedió a desarmar el inyector para chequear la electroválvula y rectificar la fuga.
- Se reparó la electroválvula manualmente con una lija 2000 con suaves movimientos rectilíneos.
- La observación del comportamiento del motor y de los inyectores previos a la reparación. El daño de los inyectores provoca problemas de inestabilidad del ralentí y bajo rendimiento del motor.

En el momento que el vehículo sube la pendiente pierde potencia, fuga de combustible y exceso de humo el cual es medido con el opacímetro.

- Análisis de los datos obtenidos del objeto en estudio después de la reparación.

Para la ejecución de este trabajo se identificó y se limitó el desarrollo de las pruebas en el vehículo e inyectores que detalla la tabla 2.

Cuadro N° 2: Descripción de inyector

Vehículo	Marca de inyector	Numeración
Mercedes Benz Sprinter 415 del año 2003	Bosch	0445110 189 Clasificación IMA/ISA.

Fuente: Autores

Los equipos utilizados para alcanzar el objetivo propuesto en este tema de investigación son:

1. Banco comprobador DONGTAI CR-318S.- Prueba una carga completa del inyector, la velocidad media, inactividad, pre-pulverización y otras condiciones de la inyección de combustible también permite realizar las siguientes pruebas:
 - Calentamiento del inyector.
 - La estanqueidad del inyector (fugas).
 - Plena carga (VL).
 - Media carga (EM).
 - Ralentí
 - Pre inyección (VE)
2. Multímetro digital.
3. Opacímetro.
4. Comprobador de inyectores manual.
5. Herramientas automotrices.

Mediante la técnica de observación se verificó el estado del automotor el mismo que presentaba una serie de anomalías tales como:

- Problemas de arranque en frío debido al fallo en los inyectores que no inyecta correctamente el combustible en el interior de la cámara de combustión.
- Inestabilidad en ralentí por falta aire y combustible en el interior de la cámara de combustión se observó que el motor vibraba.
- Exceso de humo por el escape debido a una combustión incompleta.

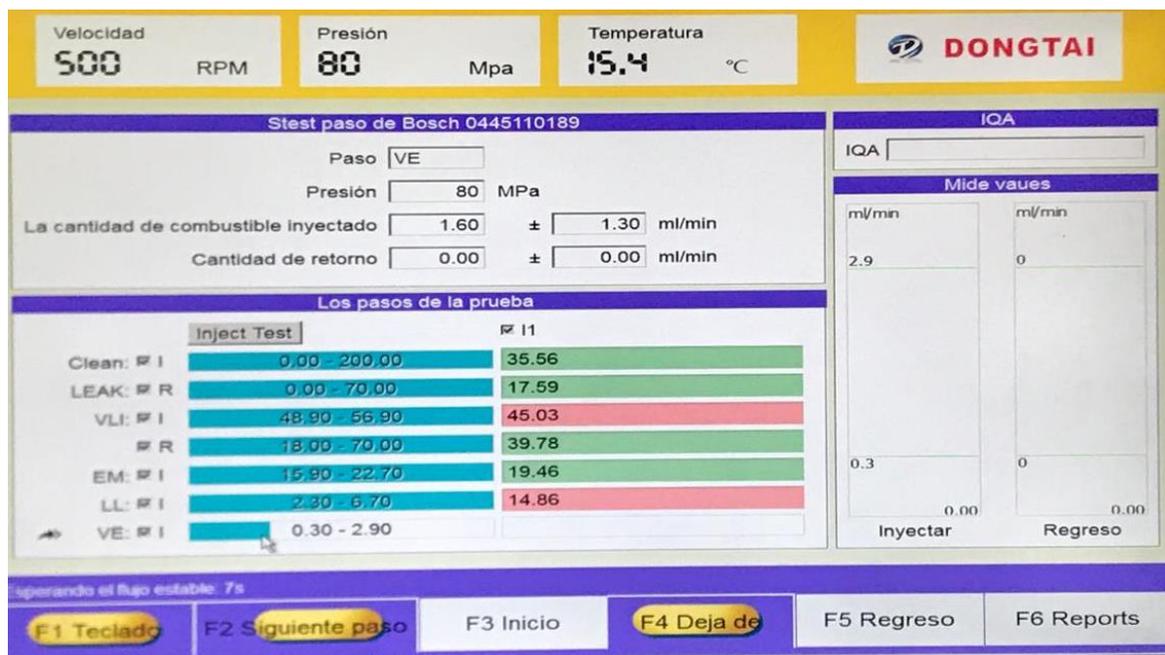
- Consumo excesivo de combustible por la fuga en los inyectores en el cabezote.
- Pérdida de fuerza, en una pendiente no desarrollaba normalmente.

En las figuras de 2 a la 4, se observa que el funcionamiento de los inyectores es defectuoso, por los valores obtenidos en el banco de pruebas DONGTAI, donde se muestra que el valor VLI (aceleración a media carga) está fuera de rango, lo cual indica que existe una fuga de combustible en los cuerpos de los inyectores, lo que produce que el vehículo pierda velocidad, exista humo en exceso y el ralentí inestable estas pruebas fueron realizadas a una velocidad de 500 rpm.

En la figura 2 se obtiene las mediciones del inyector 1 que nos muestra que está defectuoso al obtener los siguientes valores los mismos que están fuera del rango establecido por el fabricante:

- El valor VLI que es una prueba de fuga en máxima aceleración es de 45,03 ml/min, valor que está por debajo del rango de 48,90 – 56,90 ml/min.
- El valor LL que es el ralentí formado es de 14,86 ml/min, valor que está arriba del rango 2,30 – 6,70 ml/min.

Figura N° 2: Medición inyector uno

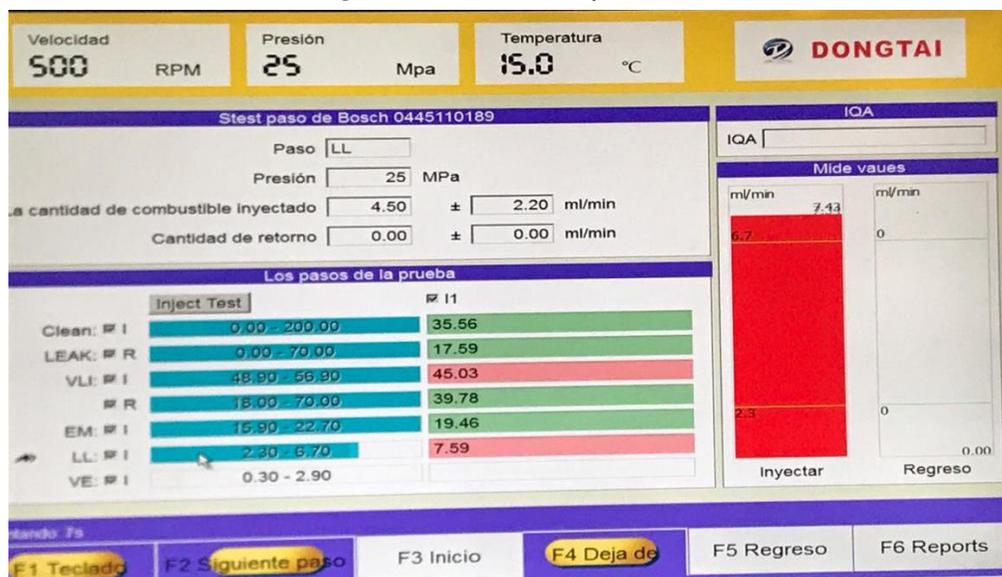


Fuente: Autores

En la figura 3 se obtiene las mediciones del inyector 2 que nos muestra que está defectuoso al obtener los siguientes valores los mismos que están fuera del rango establecido por el fabricante:

- El valor VLI que es una prueba de fuga en máxima aceleración es de 45,03 ml/min, valor que está por debajo del rango de 48,90 – 56,90 ml/min.
- El valor LL que es el ralentí formado es de 7,59 ml/min, valor que está arriba del rango 2,30 – 6,70 ml/min.
- La columna en rojo ratifica el fallo del inyector.

Figura N° 3: Medición inyector dos



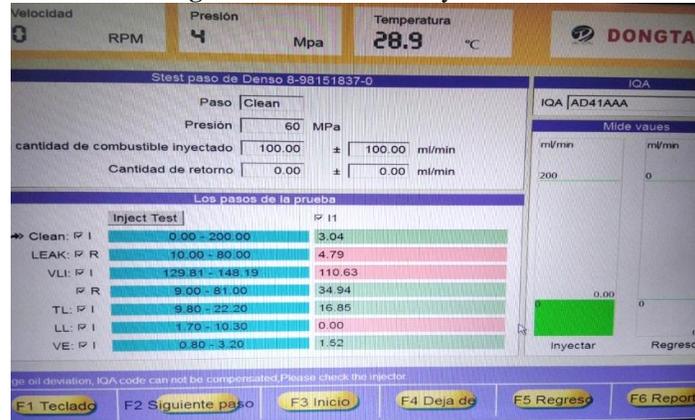
Fuente: Autores

En la figura 4 se obtiene las mediciones del inyector 3 que nos muestra que está defectuoso al obtener los siguientes valores los mismos que están fuera del rango establecido por el fabricante:

- El valor LEAK que es la prueba de fuga es de 4,79 ml/min, valor que está por debajo del rango de 10,00 – 80,00 ml/min.
- El valor VLI que es una prueba de fuga en máxima aceleración es de 110,63 ml/min, valor que está por debajo del rango de 129,81 – 148,19 ml/min.

- El valor LL que es el ralentí formado es de 0,00 ml/min, valor que está por debajo del rango 1,70 – 10,30 ml/min.

Figura N° 4: Medición inyector tres



Fuente: Autores

En la tabla 3 se obtiene las mediciones del inyector 4, donde indica que el inyector está defectuoso debido a los valores que se encuentran fuera del rango establecido por el fabricante:

- El valor VLI que es una prueba de fuga en máxima aceleración es de 45,03 ml/min, valor que está por debajo del rango de 48,90 - 56-90 ml/min.
- El valor LL que es el ralentí formado es de 14,86 ml/min, valor que está arriba del rango 2,30 – 6,70 ml/min.
- El valor VE que es una prueba de pre inyección es de 0,17 ml/min, valor que está por debajo del rango de 0,30 – 2,90 ml/min.

Cuadro N° 3: Prueba reporte de inyectores

Nomenclatura	Lectura [ml/min]	Observaciones
Pre-calentamiento (CLEAN)	35,56	Lectura aceptable
Prueba de fuga (LEAK)	17,49	Lectura aceptable
Máx. aceleración (VLI) I	45,03	Lectura inadmitida
Media carga (VLI) R	39,78	Lectura aceptable
Ralentí (TL)	19,46	Lectura aceptable
Ralentí formado (LL)	14,86	Lectura exacerbada
Pre-inyección (VE)	0,17	Lectura inadmitida

Fuente: Autores

Además, al realizar el desmontaje de los inyectores se observó el exceso de carbonilla en las toberas de los inyectores 1 y 2, fisuras en el cuerpo del inyector y arandelas deterioradas, lo que produce fuga de combustible en el inyector.

También se revisó la bobina del inyector con la ayuda del multímetro donde se evidencia una baja resistencia, lo cual afecta al retorno de la señal ya que se registra una impedancia de 0,041 Ω donde los valores normales para un correcto funcionamiento oscilan entre 12 hasta 17 Ω según el fabricante. Este rango permite un corto tiempo de accionamiento lo cual los hace perfectos para motores con gran cilindraje puesto que mejora fundamentalmente el ralenti gracias a su velocidad de respuesta.

Mediante una revisión a los inyectores se observa la fuga de combustible en las toberas, lo que causa una mala inyección de este hacia el cilindro del motor, para subsanar este inconveniente se procedió a sellar la fuga con teflón en cada una de ellas. Además, se verificó que la junta entre la tobera y el cuerpo de la válvula estaba deteriorada causando la fuga de combustible y pérdida de presión.

Una vez determinadas todas las fallas de los inyectores se realizan las reparaciones y mantenimientos correspondientes.

Resultados y discusión

Una vez reparados los inyectores y realizadas las pruebas de todos los inyectores a una velocidad de 500 rpm. y una temperatura de 15,4 °C en el banco de comprobación DONGTAI CR-318S se obtuvieron los siguientes resultados.

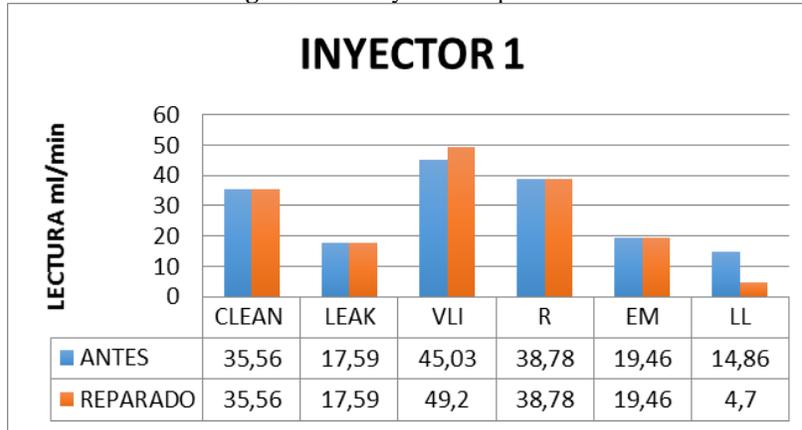
En las figuras 5 a la 8 se observa que el valor de Máx. la aceleración (VLI) se incrementa, el valor Ralenti formado (LL) disminuye y se ajustan a los valores establecidos en la tabla 4 en la cual se muestra el rango en que trabajan de manera óptima los inyectores.

Cuadro N° 4: Prueba reporte de inyectores

Nomenclatura	Rango
Pre-calentamiento (CLEAN)	0,00 – 200 ml/min
Prueba de fuga (LEAK)	0,00 – 70,00 ml/min
Máximo aceleración (VLI) I	48,90 – 56,90 ml/min
Media carga (VLI) R	18,00 – 70,00 ml/min
Ralenti (TL)	15,90 – 22,70 ml/min
Ralenti formado (LL)	2,30 – 6,70 ml/min
Pre-inyección (VE)	0,30 – 2,90 ml/min

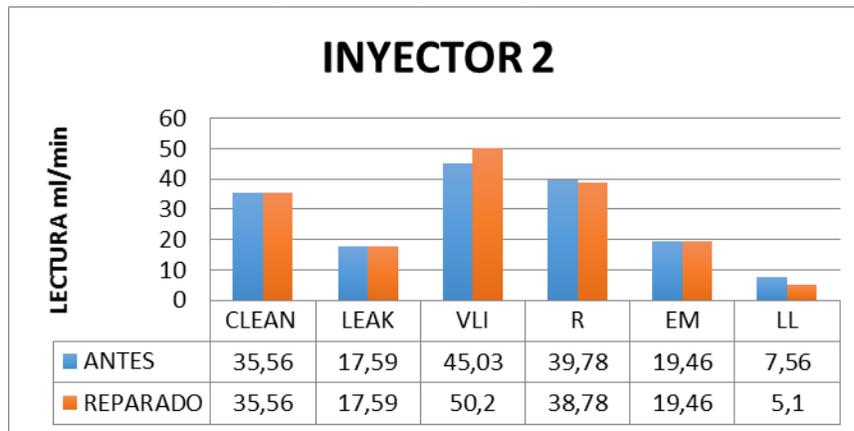
Fuente: Autores

Figura N° 5: Inyector 1 optimizado



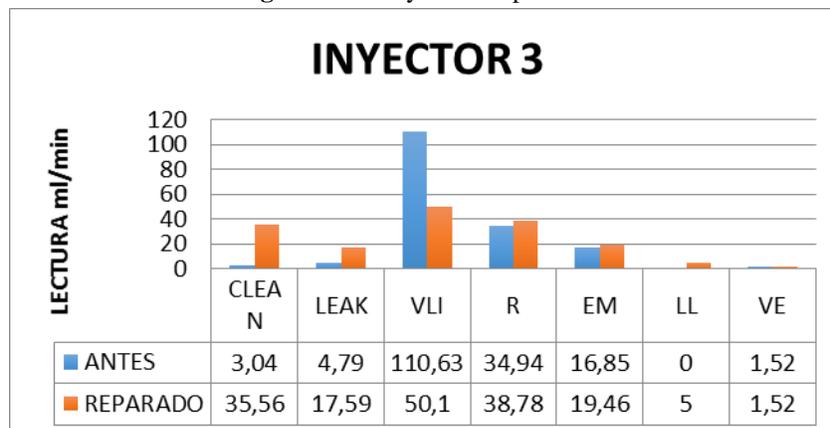
Fuente: Asqui (2021)

Figura N° 6: Inyector 2 optimizado



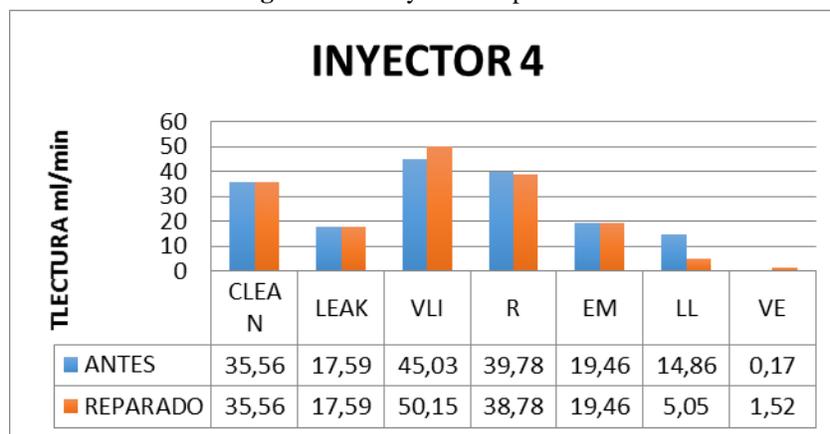
Fuente: Autores

Figura N° 7: Inyector 3 optimizado



Fuente: Autores

Figura N° 8: Inyector 4 optimizado



Fuente: Autores

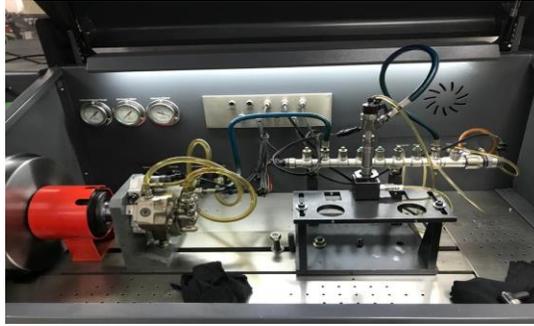
Después de realizar la comprobación se tomaron 132 lecturas aleatorias de 200 pruebas posibles con un error muestral del 5%, se lograron identificar los siguientes datos.

- Calentamiento del inyector (CLEAN): 10,1 ml/min; lo cual representa un valor mínimo lo cual explica los ruidos continuos al encender.
- Prueba de estanqueidad del inyector (fugas): 8,00 ml/min; el valor es muy bajo lo cual se comprobó al observar como el combustible salía del elemento por los costados.
- Cantidad a plena carga (VL): 35,21 ml/min el valor demuestra que no llega ni al mínimo requerido

Para el grupo de inyectores durante la comprobación se observó la optimización en su funcionamiento debido a que antes del análisis sus principales valores estaban desfasados, razón por la cual el vehículo presentaba problemas para desarrollar en la carretera y en la ciudad, humeaba en exceso, presentó falta de potencia y demasiado consumo de combustible.

En cada una de las pruebas desarrolladas en el banco de pruebas, se iba descartando los problemas iniciales con el método de prueba error, a fin de ir solucionando los defectos adquiridos por los inyectores, a pesar del esfuerzo se obtuvieron comprobaciones en las que debido al desgaste interno del elemento no se lograron eliminar por completo, pero sí disminuir el impacto del error a un límite aceptable.

Figura N° 9: Inyector en el banco de pruebas



Fuente: Autores

Una vez superado el resto de las pruebas se procedió a colocar los inyectores dentro del vehículo para ver el desenvolvimiento de estos. Además del cambio del grupo de filtros también forma parte de la discusión debido a que el material con el que se construyen estos es papel filtro, este tiende a degradarse con mayor rapidez dependiendo de la marca utilizada, entonces el combustible que contiene grandes cantidades de azufre sumado a las impurezas encontradas en el aire así como también el constante desgaste en las parte móviles como fijes del motor que circulan en el aceite, inciden en el comportamiento del sistema CDRI, al cual se hace referencia. Además, se observa una menor emisión de gases y también el cambio de color del humo lo que significa una menor contaminación al medio ambiente.

Conclusiones

Se puede concluir que, al no realizar los mantenimientos a su debido tiempo, puede generar un deterioro y un mal funcionamiento de los inyectores y del sistema de alimentación en general.

Asimismo, coincidimos que el mantenimiento adecuado de los inyectores mejora la pulverización del combustible y por ende los índices de potencia, elevar la presión del combustible hasta llegar a los niveles necesarios, para luego poder llevar a cabo la combustión de manera óptima, además se economiza el consumo de combustible y se disminuye la toxicidad de los gases del escape del motor.

Finalmente es importante llevar una ficha de mantenimiento para un correcto control de la bomba de inyección y sus componentes, para detectar averías rápidamente, antes de que lleguen a un nivel mayor y así se podrá realizar las reparaciones correspondientes.

Referencias

1. Aguilera Roldán, F. de A. (2017). Diseño de una metodología para la optimización experimental del consumo y emisiones de un motor Diésel.
2. Calle, A. C. (2014). Sistemas de inyección en motores Diésel. Universidad de Sevilla, 65.
3. Castillejo, A. (2014). Sistemas de inyección en motores Diésel. Trabajo de Grado de Ingeniería.
4. Coral de la Cadena, F. A. (2013). 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.
5. INEN, N. T. E. N. T. E. (2009). 2 207: 2002 Gestión Ambiental. Aire. Vehículos Automotores. Límites Permitidos de Emisiones Producidas Por Fuentes Móviles Terrestres de Diesel.
6. Lira - Cacho, G., & García-Ortiz, M. (2018). Sistema para mejorar la estabilidad de los motores Diésel en regímenes de bajas cargas y velocidades. <https://doi.org/https://doi.org/10.21754/tecnia.v9i1.441>
7. Parera, A. M. (1996). Inyección electrónica en motores diesel. Marcombo.
8. Payri - González, F., & Desantes - Fernández, J. M. (2011). Motores de combustión interna alternativos. Editorial Universitat Politècnica de Valencia.
9. Reyes - Cualchi, J. P. (2018). Diagnóstico de motores diésel electrónicos, a base de presiones en el riel común (CRDI).
10. Soto Chicoma, L. A. (2019). Análisis termoeconómico para optimizar el consumo de combustible de un motor diésel en la ciudad de Chiclayo.
11. Tigre Sangurima, M. O., & Villa Cayambe, N. M. (2015). Repotenciación de un banco de pruebas de inyectores para vehículos a diesel CRDI para el laboratorio de inyección electrónica de la Escuela de Ingeniería Automotriz. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.