



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

CERTIFICADO**ACEPTACIÓN DEL DIRECTOR**

En mi calidad de director del plan de trabajo de grado, previo a la obtención del título de Ingeniería en Mantenimiento Automotriz, nombrado por el Honorable Consejo Directivo de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas.

CERTIFICO:

Que una vez analizado el plan de grado cuyo título es "DIAGNÓSTICO ELECTRÓNICO Y MECÁNICO DE INYECTORES PIEZO ELÉCTRICOS" presentado por el señor: Jhonatan David Neppas Arias con número de cédula 1004479737 y Rodolfo Carlos Torres Benavides con número de cédula 1003847587, doy fe que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a presentación pública y evaluación por parte de los señores integrantes del jurado examinador que se designe.

En la ciudad de Ibarra, a los treinta y un días del mes julio del 2023. Atentamente,

Atentamente



Ing. Jorge Luis Melo Obando

Director del trabajo de grado



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	100447973-7		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Neppas Arias Jhonatan David		
DIRECCIÓN:	Cayambe – Pichincha, Barrio Verde Pamba		
EMAIL:	jdneppasa@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:		TELÉFONO MÓVIL:	0979525947

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	100384758-7		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Torres Benavides Rodolfo Carlos		
DIRECCIÓN:	Ibarra – Imbabura		
EMAIL:	rctorresb@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:		TELÉFONO MÓVIL:	0986117876

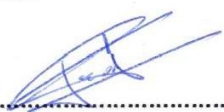
DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	DIAGNÓSTICO ELECTRÓNICO Y MECÁNICO DE INYECTORES PIEZO ELÉCTRICOS
AUTOR (ES):	Neppas Arias Jhonatan David, Torres Benavides Rodolfo Carlos
FECHA:	30/07/23
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniería en Mantenimiento Automotriz
ASESOR /DIRECTOR:	Ing. Carlos Mafla Msc. - Ing. Jorge Melo Msc.

2. CONSTANCIAS

El autor (es) manifiesta (n) que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto la obra es original y que es (son) el (los) titular (es) de los derechos patrimoniales, por lo que asume (n) la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá (n) en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los cuatro días del mes de septiembre de 2023

EL AUTOR:

(Firma) 

Nombre: Ibonatan Neppas

(Firma) 

Nombre: Carlos Torres

DEDICATORIA

El presente trabajo se lo agradezco infinitamente a mis padres, porque son quienes han estado detrás de cada batalla ganada y cada derrota haciendo que crezca tanto en mi vida profesional como personal, es por tal motivo que esta victoria es de ellos, por ellos y para ellos.

A mi esposa porque me ha brindado su apoyo, cariño y ganas de seguir adelante, a familiares, amigos, compañeros que han aportado con un granito de arena para mi formación y lograr cumplir este sueño.

Jhonatan Neppas

Quiero agradecer a mis padres por haberme forjado como la persona que soy y no dejar de creer en mí, muchos de mis logros se los debo a ustedes, entre ellos incluyen este objetivo.

Gracias por haberme formado con reglas, condiciones y varias libertades, pero al final de todo, me motivaron a seguir adelante para poder alcanzar mis anhelos.

Carlos Torres

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a la universidad técnica del norte porque me ha permitido ser parte de tan grande institución y lograr este objetivo que me he planteado, y también agradezco a mis docentes por trasmitirme sus conocimientos, palabras de motivación para poder cumplir mis objetivos.

Jhonatan Neppas

Quiero agradecer a la Universidad Técnica del Norte por darme la oportunidad de ingresar y poder continuar con mis estudios, también agradezco la ayuda de mis profesores, compañeros y amigos que he encontrado en este camino llamado universidad, ellos han sido grandiosas personas que me han impartido buenos valores y conocimientos y así poder lograr mis metas.

Carlos Torres

RESUMEN

Los sistemas de inyección de combustible diésel están evolucionando junto con las nuevas tecnologías en desarrollo. Estas tecnologías tienen la capacidad de reducir el consumo de combustible y disminuir la contaminación ambiental causada por los vehículos diésel, al tiempo que mejoran el rendimiento y la potencia. La intervención electrónica es crucial para controlar tiempos de funcionamiento muy cortos, permitiendo avances tecnológicos en la mejora de los vehículos. Un sistema de inyección diésel CRDI permite múltiples inyecciones de combustible, como la preinyección, inyección principal y post inyección. Esto disminuye el ruido y la emisión de contaminantes, a la vez que aumenta la potencia y el torque.

La investigación se centró específicamente en los inyectores piezoeléctricos de la camioneta Volkswagen AMAROK, para ello se realizó una investigación bibliográfica con el objetivo de conocer el desarrollo y funcionamiento electrónico y mecánico de los inyectores piezoeléctricos, se realizaron pruebas electrónicas, mecánicas a los inyectores que estaban en uso posteriormente se los comparo con inyectores piezoeléctricos nuevos para ello se utilizó el banco de pruebas V3500 el cual nos permitió realizar una inspección visual sobre el estado físico de dichos inyectores, diagnóstico del caudal de los inyectores, pruebas toda carga, prueba media carga, prueba a ralentí, pruebas de presiones y estanqueidad.

También se utilizó el equipo de pruebas FSA 740 con el que se obtuvo datos específicos del sistema a baja presión, presión media y alta presión, en este banco se realizó pruebas de par de giro motor, valor de carga, limitación par motor, consumo de combustible, cantidad de rectificando para los cilindros, duración control de inyección, además de pruebas mediante osciloscopio para un diagnóstico electrónico preciso.

Al concluir con las pruebas se observó que el rendimiento del vehículo mejora notablemente debido al remplazo de los componentes, mientras que en las pruebas de caudal de inyección y de retorno se identificó que los inyectores presentan mayores inconvenientes al suministrar suficiente combustible, en cuanto al sensor ZME se observó que al remplazar el componente usado se obtiene un valor de amperaje, finalmente en las pruebas de presión de las líneas de retorno de los inyectores piezo eléctricos reemplazados, se pudo comprobar que no existen oscilaciones en el manómetro mostrando así un valor mucho más estable.

ABSTRACT

Diesel fuel injection systems are evolving along with new and developing technologies. These technologies have the ability to reduce fuel consumption and reduce environmental pollution caused by diesel vehicles, while improving performance and power. Electronic intervention is crucial to control very short running times, enabling technological advances in vehicle improvement. A CRDI diesel injection system allows multiple fuel injections, such as pre-injection, main injection and post-injection. This decreases noise and pollutant emissions, while increasing power and torque.

The research was specifically focused on the piezoelectric injectors of the Volkswagen AMAROK van, for this purpose a bibliographic research was carried out with the objective of knowing the development and electronic and mechanical operation of the piezoelectric injectors, electronic tests were performed, The V3500 test bench was used to perform a visual inspection of the physical condition of the injectors, diagnosis of the flow of the injectors, full load tests, half load test, idle test, pressure and tightness tests.

The FSA 740 test equipment was also used to obtain specific data from the system at low pressure, medium pressure and high pressure. On this bench, torque, load value, torque limitation, fuel consumption, amount of grinding for the cylinders, injection control duration, and oscilloscope tests for an accurate electronic diagnosis were carried out.

At the conclusion of the tests it was observed that the performance of the vehicle improves significantly due to the replacement of the components, while in the tests of injection flow and return it was identified that the injectors present greater inconvenience in supplying enough fuel, as for the ZME sensor it was observed that when replacing the used component an amperage value is obtained, finally in the pressure tests of the return lines of the replaced piezo electric injectors, it could be verified that there are no oscillations in the pressure gauge showing a much more stable value.

ÍNDICE

CERTIFICADO.....	II
DEDICATORIA.....	V
AGRADECIMIENTOS.....	VI
RESUMEN.....	VII
ABSTRACT.....	VIII
ÍNDICE.....	IX
CAPÍTULO I.....	1
1. Revisión Bibliográfica.....	1
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Planteamiento del Problema.....	2
1.3 Formulación del Problema.....	3
1.4 Objetivos.....	3
1.4.1 Objetivo General.....	3
1.4.2 Objetivos Específicos.....	3
1.5 Alcance.....	3
1.6 Marco Teórico.....	4
1.6.1 Sistemas de Inyección Electrónica Common Rail.....	4
1.6.2 Componentes del Sistema.....	5
1.6.3 La Inyección Diesel.....	11

1.6.4	Inyectores Piezo eléctricos	12
1.6.5	Funcionamiento Mecánico de Inyectores Piezo eléctricos.....	13
1.7	Problemas de los Inyectores Piezo Eléctricos:.....	18
1.7.1	Problemas Eléctricos	18
1.7.2	Problemas por Fugas	18
1.7.3	Problemas en la Punta del Inyector (Tobera)	18
1.8	Mantenimiento de Inyectores.....	19
1.8.1	Usar Aditivos Limpia Inyectores.....	20
1.8.2	Cambio del Filtro de Combustible.....	20
1.8.3	Combustible de Buena Calidad	20
1.8.4	Uso de Biodiesel.....	20
1.8.5	Régimen Estable de Revoluciones	21
1.9	Mantenimiento Especializado de Inyectores	21
1.9.1	Limpieza de Inyectores por Ultra Sonido.....	21
1.9.2	Limpieza de Inyectores por Recirculación o Barrido.....	22
CAPÍTULO II.....		23
2.	Materiales y Métodos	23
2.1	Materiales.....	23
2.1.1	Banco Comprobador de Inyectores V-3500	23
2.1.2	Vehículo Volkswagen Amarok	24

2.1.3	Inyector Piezo Eléctrico.....	26
2.1.4	Equipo de Diagnóstico FSA 740	26
2.2	Metodología	27
2.2.1	Diagnóstico del Sistema de Inyección.....	27
2.2.2	Diagnóstico de Baja Presión.....	28
2.2.3	Diagnóstico de Alta Presión	28
2.3	Diagnóstico Electrónico de Inyectores	31
2.3.1	Prueba de Valor Óhmico (Ohm) en Inyectores Piezo Eléctricos	32
2.3.2	Pruebas de Funcionamiento Mediante el Uso de Osciloscopios	32
2.3.3	Prueba de Aislamiento del Actuador Piezoeléctrico	33
2.3.4	Diagnóstico de Caudal de un Inyector Piezoeléctrico	33
2.3.5	Prueba Toda Carga	33
2.3.6	Prueba Media Carga	33
2.3.7	Prueba a Ralentí.....	34
2.3.8	Prueba de Pulverización	34
2.3.9	Prueba de Estanqueidad.....	35
2.4	Desmontaje de Inyectores.....	35
2.5	Pruebas de Presiones.....	38
2.6	Despiece del Inyector.....	42
2.7	Datos Nominales de Inyector Piezo Eléctrico Nuevo.....	43

2.7.1	Pruebas del Inyector a una Presión De 300 Bar	43
2.7.2	Pruebas del Inyector Nuevo a una Presión de 500 Bar.....	44
2.7.3	Pruebas del Inyector Nuevo a una Presión de 600 Bar.....	45
CAPÍTULO III		46
3.	Resultados.....	46
3.1	Análisis Visual del Estado de los Inyectores	46
3.2	Análisis de Resultados del Comportamiento Mecánico y Electrónico de los Inyectores Piezoeléctricos BOSCH	46
3.3	Análisis de Pruebas del Inyector Número 1	47
3.3.1	Análisis de Pruebas del Inyector Número 1 Presión de 300 Bar.....	47
3.3.2	Análisis de Pruebas del Inyector Número 1 a la Presión de 500 Bar	48
3.3.3	Análisis de Pruebas del Inyector Número 1 a la Presión de 600 Bar	49
3.4	Análisis de las Pruebas del Inyector Número 2	50
3.4.1	Análisis de Pruebas del Inyector Número 2 a la Presión de 300 Bar	50
3.4.2	Análisis de Pruebas del Inyector Número 2 a la Presión de 500 Bar	51
3.4.3	Análisis de Pruebas del Inyector Número 2 a la Presión de 600 Bar	52
3.5	Análisis de Pruebas del Inyector Número 3.....	53
3.5.1	Análisis de Pruebas del Inyector Número 3 a la Presión de 300 Bar	53
3.5.2	Análisis de Pruebas del Inyector Número 3 a la Presión de 500 Bar	54
3.5.3	Análisis de Pruebas del Inyector Número 3 a la Presión de 600 Bar	55

3.6	Análisis de Pruebas del Inyector Número 4.....	56
3.6.1	Análisis de Pruebas del Inyector Número 4 a la Presión de 300 Bar	56
3.6.2	Análisis de Pruebas del Inyector Número 4 a la Presión de 500 Bar	57
3.6.3	Análisis de Pruebas del Inyector Número 4 a la Presión de 600 Bar	58
3.7	Análisis y Comparación del Sensor ZME (Componente de Fabrica) vs Repuesto Nuevo Mediante Pruebas de Osciloscopio.....	58
3.8	Análisis y Comparación de Valores de Inyectores Usados del Vehículo Volkswagen Amarok vs Inyectores Nuevos	59
3.9	Análisis y Comparación de las Pruebas de Presión de Retorno de los Inyectores Piezo Eléctricos	62
CAPÍTULO IV		64
4.	Conclusiones y Recomendaciones	64
4.1	Conclusiones	64
4.2	Recomendaciones	65
BIBLIOGRAFÍA		66

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Sistema Common-rail	5
Figura 2.1 Partes de un Sistema Common-Rail	6
Figura 3.1 Unidad de control electrónico ECU	7
Figura 4.1 Sensor CKP	7
Figura 5.1 Sensor CMP	8
Figura 6.1 Sensor de posición del pedal del acelerador	9
Figura 7.1 Sensor FRP.....	10
Figura 8.1 Sensor MAF	10
Figura 9.1 Sensor ECT	11
Figura 10.1 Partes de un inyector piezo eléctrico.....	13
Figura 11.1 Activador piezo eléctrico	14
Figura 12.1 Pulsos de inyector piezo eléctrico.....	15
Figura 13.1 Inicio de la inyección	16
Figura 14.1 Inyección	16
Figura 15.1 Final de la Inyección	17
Figura 16.1 Voltaje de señal del inyector piezo eléctrico	17
Figura 17.1 Tobera de inyector en buen y mal estado.....	19
Figura 18.1 Limpieza de inyectores por ultra sonido	21
Figura 19.2 Banco Comprobador de Inyectores V-3500.....	23
Figura 20.2 Camioneta Volkswagen Amarok	25
Figura 21.2 Inyector Piezo Eléctrico BOSCH.....	26
Figura 22.2 Equipo de Diagnóstico FSA 740.....	27
Figura 23.2 Presión del combustible	29

Figura 24.2 Referencia cables inyector	29
Figura 25.2 Ondas de presión en riel común.....	30
Figura 26.2 Inyectores Piezo Eléctricos	31
Figura 27.2 Comprobación de resistencia en inyector Piezo Eléctrico	32
Figura 28.2 Prueba a Ralentí	34
Figura 29.2 Código inyector.....	36
Figura 30.3 Inyectores Volkswagen Amarok.....	46
Figura 31.3 Datos de la válvula ZME componente usado vs repuesto nuevo.....	59
Figura 32.3 Prueba de presión de retorno (componentes usados).....	62
Figura 33.3 Prueba de presión de retorno (componentes nuevos).....	63

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Características Volkswagen Amarok 2.0 TDI.....	25
Tabla 2 Características inyector Bosch.....	26
Tabla 3 Características Equipos FSA 740	27
Tabla 4 Pasos para el desmontaje de los inyectores	36
Tabla 5 Protocolo para el uso del banco de pruebas.....	38
Tabla 6 Pasos para el montaje de inyectores	41
Tabla 7 Prueba del inyector Bosch piezo eléctrico con una presión de 300 bar, con tiempos de inyección de 0.5, 1, 2 ms.....	43
Tabla 8 Prueba del inyector Bosch piezo eléctrico con una presión de 500 bar, con tiempos de inyección de 0.5, 1, 2 ms.....	44
Tabla 9 Prueba del inyector Bosch piezo 2 eléctrico con una presión de 600 bar, con tiempos de inyección de 0.5, 1, 2 ms.....	45

Tabla 10 Prueba del inyector Bosch piezo eléctrico con una presión de 300 bar, con tiempos de inyección de 0.5, 1, 2 ms	47
Tabla 11 Prueba del inyector Bosch piezo eléctrico con una presión de 500 bar, con tiempos de inyección de 0.5, 1, 2 ms	48
Tabla 12 Prueba del inyector Bosch piezo eléctrico con una presión de 600 bar, con tiempos de inyección de 0.5, 1, 2 ms	49
Tabla 13 Prueba del inyector Bosch piezo eléctrico con una presión de 300 bar, con tiempos de inyección de 0.5, 1, 2 ms	50
Tabla 14 Prueba del inyector Bosch piezo eléctrico con una presión de 500 bar, con tiempos de inyección de 0.5, 1, 2 ms	51
Tabla 15 Prueba del inyector Bosch piezo eléctrico con una presión de 600 bar, con tiempos de inyección de 0.5, 1, 2 ms	52
Tabla 16 Prueba del inyector Bosch piezo eléctrico con una presión de 300 bar, con tiempos de inyección de 0.5, 1, 2 ms	53
Tabla 17 Prueba del inyector Bosch piezo eléctrico con una presión de 500 bar, con tiempos de inyección de 0.5, 1, 2 ms	54
Tabla 18 Prueba del inyector Bosch piezo eléctrico con una presión de 600 bar, con tiempos de inyección de 0.5, 1, 2 ms	55
Tabla 19 Prueba del inyector Bosch piezo eléctrico con una presión de 300 bar, con tiempos de inyección de 0.5, 1, 2 ms	56
Tabla 20 Prueba del inyector Bosch piezo eléctrico con una presión de 500 bar, con tiempos de inyección de 0.5, 1, 2 ms	57
Tabla 21 Prueba del inyector Bosch piezo eléctrico con una presión de 600 bar, con tiempos de inyección de 0.5, 1, 2 ms	58

Tabla 22 Resultados del rendimiento del vehículo 60

Tabla 23 Resultados del rendimiento del vehículo 61

CAPÍTULO I

1. Revisión Bibliográfica

1.1 Antecedentes

Desde hace muchos años atrás los seres humanos han buscado medios para transportar carga o movilizarse, haciendo uso de vehículos de combustión interna pudiendo ser estos con motor a gasolina o motor diésel, esto ha generado preocupación en el aspecto medioambiental por que dichos motores contaminan y afectan al cambio climático (Krishan, 2021).

Diversas naciones han intervenido para regular la emisión de gases contaminantes como el monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NOx), hidrocarburos sin ser combustionados (HC), dióxido de carbono (co2) y material particulado causantes del efecto invernadero (Benavides Ballesteros & León Aristizabal, 2007, pág. 44).

Para contrarrestar esta problemática de la emisión de gases contaminantes se ha requerido el desarrollo de bombas de inyección para que el combustible se inyecte en el cilindro con gran precisión y en el momento justo mediante el uso de inyectores mecánicos, electromagnéticos y del tipo piezoeléctricos.

Los inyectores son dispositivos encargados de generar un efecto de atomización conjuntamente con la bomba de alta presión dentro de la cámara del cilindro, inyectando el combustible de manera precisa y homogénea para que al culminar el recorrido de compresión esta se combustione completamente, reduciendo la cantidad los gases contaminantes que se producen por la combustión.

Los inyectores piezoeléctricos son un desarrollo superior al inyector mecánico o al inyector electromagnético porque al reemplazar la bobina electromagnética por una válvula piezoeléctrica, genera acciones más rápidas de apertura y cierre, siendo así hasta cuatro veces

más rápida que el inyector normal, consiguiendo ciclos óptimos de inyección (Instituto de servicio, 2006, pág. 5).

1.2 Planteamiento del Problema

El presente análisis se lo realizará en la ciudad de Ibarra en el laboratorio de Ingeniería Automotriz de la Universidad Técnica del Norte, en el cual se analizará y obtendrá datos importantes sobre el diagnóstico electrónico y mecánico de inyectores piezoeléctricos. De esta manera se podrá dar un plan de mantenimiento adecuado para un correcto funcionamiento de los mismos y evitar posibles fallas o daños irreparables.

Por lo general los combustibles que se comercializan en el país son de mala calidad, puede haber presencia de agua en los mismos por un inadecuado almacenamiento en las estaciones de servicio, además de la presencia de azufre en el petróleo crudo, sin mencionar que es muy complicado reducir los niveles de contaminantes que se encuentran en el aire a un 0%.

Es por esta razón que el motor está en constante riesgo, la presencia de compuestos químicos como dióxido de azufre en la mezcla aire-combustible pueden formar carbonizaciones que deterioran los elementos del motor por motivo de que al formarse estas capas de gases es probable que queden impregnados residuos de azufre, lo cual es corrosivo y altamente peligroso para la funcionalidad normal de un sistema, esto nos da como resultado la reducción de la vida útil de los componentes que constituyen el motor.

Es importante mencionar que la presencia de azufre en el combustible además de desgastar los componentes del motor presenta también una elevada emanación de gases de escape y reduce la eficiencia del motor diésel.

Se conoce que el costo de los elementos mecánicos de un motor diésel es considerable, por lo que genera inconformidad en las personas que adquieren un vehículo

con motor diésel, en algunos casos la falla del inyector es tan grave que no se puede reparar y la única solución es la sustitución del juego de inyectores.

Los inyectores piezoeléctricos pueden sufrir fallas en sus cristales de cuarzo ya que con el uso constante, el material piezoeléctrico tiende a perder sus propiedades, igualmente se pueden dar problemas de fugas de combustible, debido a que los componentes pueden perder sus propiedades herméticas, los orificios de inyección pueden taponarse o cambiar su forma lo que genera una mala pulverización del combustible.

1.3 Formulación del Problema

¿Cuáles podrían ser las causas de desgaste de los inyectores piezo eléctricos de la camioneta Volkswagen Amarok?, para poder establecer un plan de mantenimiento.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

- Realizar un diagnóstico electrónico y mecánico de inyectores piezoeléctricos de la camioneta Volkswagen Amarok perteneciente a la carrera de ingeniería automotriz.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Investigación bibliográfica de inyectores piezoeléctricos
- Determinar valores electrónicos del funcionamiento de inyectores piezoeléctricos
- Establecer el funcionamiento mecánico de los inyectores piezoeléctricos
- Aplicar un correcto diagnóstico mecánico y electrónico de inyectores piezoeléctricos

1.5 Alcance

El presente trabajo de grado tiene por finalidad sintetizar información bibliográfica acerca de los inyectores piezoeléctricos para comprender de mejor manera estos

componentes, debido a que los motores Diesel han ido evolucionando día tras día y por ende sus sistemas principales.

Durante el desarrollo del proyecto se implementará nuevos inyectores piezoeléctricos en la camioneta Volkswagen Amarok perteneciente a la carrera de Ingeniería Automotriz para poder realizar pruebas de funcionamiento con inyectores actuales y nuevos, y así obtener datos y compararlos mediante el uso de equipos electrónicos de medición como son: osciloscopios y escanners para un diagnóstico preciso del funcionamiento del vehículo.

A través de la información recolectada, se tiene por objetivo:

- Comparar el funcionamiento previo y posterior con el cambio de inyectores.
- Analizar diferentes valores que brinden los sistemas de medición.
- Elaborar un plan para mantenimiento preventivo de los inyectores piezoeléctricos.

1.6 Marco Teórico

1.6.1 Sistemas de Inyección Electrónica Common Rail

Rudolf Diesel creador del motor a diésel, un prototipo de motor de combustión interna que no precisaba el uso de chispa para iniciar la ignición del combustible, Rudolf comprobó que para realizar la combustión del combustible era indispensable inyectar el combustible a una alta presión y en aquel entonces hacia uso de compresores de aire que eran muy costosos y de gran peso.

Robert Bosch unificó la bomba de combustible y la distribución de la presión en fases que Rudolf Diesel habría dividido. En los sistemas modernos de common-rail vuelven a la ideología de Rudolf diésel en la que por una parte hay una bomba encargada de generar la alta presión y por otra parte se distribuye la inyección mediante pulsos eléctricos controlados por la unidad de control en los inyectores electrónicos (Sistemas Diesel, 2014, pág. 8).

El sistema de inyección Common-rail es el avance tecnológico más utilizado en la actualidad por varias marcas fabricantes de vehículos, representando un gran paso para la disminución de gases contaminantes y eficiencia de los motores diésel.

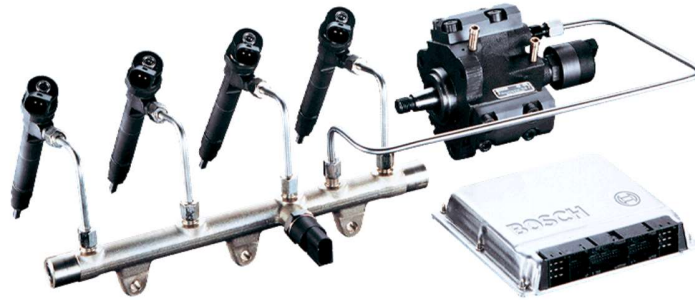


Figura 1.1 Sistema Common-rail

Fuente: (Bosch, 2019)

El sistema common-rail se divide en dos partes, una bomba que suministra combustible constantemente a alta presión hacia los inyectores a través de una cañería común, que esta se puede controlar independientemente de las revoluciones del motor y por otra parte es la capacidad de la unidad de control en la que puede dar inicio, fin y presión del combustible conjuntamente trabajando con los sensores instalados en el vehículo (Robert Bosch, pág. 26).

1.6.2 Componentes del Sistema

Este sistema se puede instalar en cualquier gama de vehículos pudiendo ser automóviles para el transporte personal o en vehículos de carga, obteniendo un buen desempeño, bajas emisiones sonoras y una disminución notable en la emisión de gases contaminantes, representando un gran potencial en la aplicación de motores Diésel, esta tecnología es similar a la aplicada en motores de inyección a gasolina solo que la presión

alcanzada en la riel común de los motores Diesel es de 1 300 bares y la presión de los motores a gasolina es tan solo es de 6 bares (Consuegra Pacheco, 2007, pág. 59).

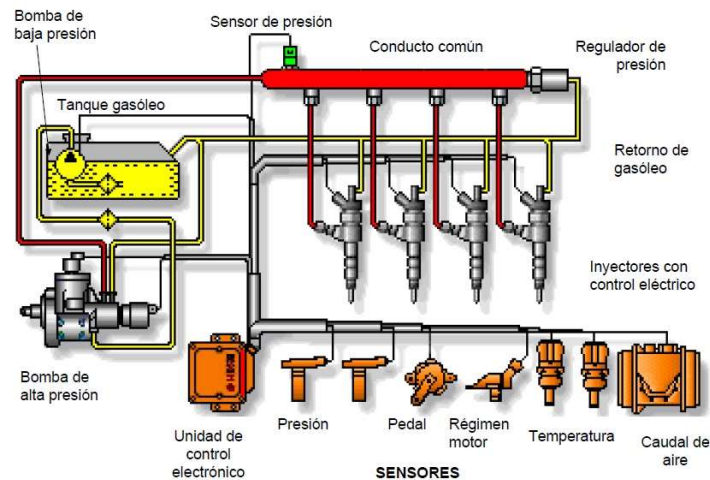


Figura 2.1 Partes de un Sistema Common-Rail

Fuente: (Federico, 2017)

El sistema common-rail se compone de las siguientes partes:

1.6.2.1 Unidad de Control Electrónica (ECU).

La unidad de control electrónica registra valores que se obtienen mediante sensores como pueden ser; el sensor de posición del acelerador, régimen del motor, temperatura de funcionamiento, el flujo de aire entre otros, la ECU se encarga de procesar estos valores y transmitir a través de líneas de datos hacia los actuadores, influyendo directamente en el control de inyección, los gases emanados, la auto detonación del motor y la auto diagnosis, memorizando algunas fallas para el correcto funcionamiento del motor (Alonso Perez José Manuel , 2009, pág. 698).



Figura 3.1 Unidad de control electrónico ECU

Fuente: (Bosch, 2019)

1.6.2.2 Sensor de Posición Del Cigüeñal (CKP).

El sensor CKP tiene por objetivo el de informar la velocidad angular del cigüeñal conjuntamente con el sensor de velocidad, dando a conocer que el volante de inercia tendría 60 dientes, pero le harían falta dos, quedando un total de 58 dientes, la ausencia de este par de dientes sirve para indicar la posición del cigüeñal por medio de impulsos magnéticos generando una señal, esta señal es enviada a la ECU para determinar el momento de inicio de la inyección del combustible (Medina, 2018, pág. 48).

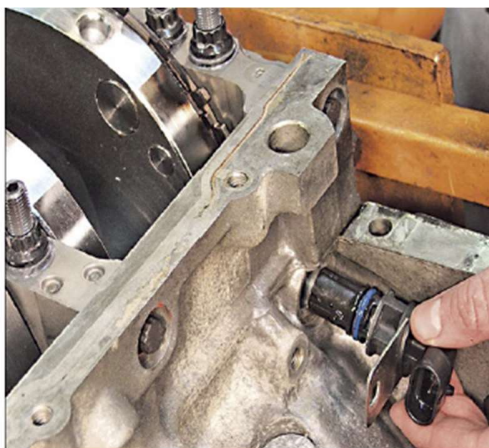


Figura 4.1 Sensor CKP

Fuente: (Medina, 2018)

1.6.2.3 Sensor de Posición del Árbol de Levas (CMP).

Este sensor se encarga de identificar la posición de los cilindros para así poder sincronizar la activación de los inyectores en el tiempo justo.

Este sensor se constituye por un imán permanente que induce un campo magnético al que se le aplica una corriente de 5V (efecto hall), este campo magnético se corta cada que el imán del sensor pasa por un diente siendo interrumpido varias veces dando una señal de frecuencia que ronda desde los 0V a los 5V, esta señal es interpretada mediante la ECU como las revoluciones del árbol de levas y la posición de los cilindros (Concepcion Mandy, 2004, pág. 17).



Figura 5.1 Sensor CMP

Fuente: (Medina, 2018)

1.6.2.4 Sensor del Pedal del Acelerador (APP).

Este sensor no tiene una acción mecánica directa en el motor, es decir, el pedal no cuenta con un cable que haría la función de suministrar combustible en su totalidad, este sensor se posiciona al final del pedal del acelerador y está conectado electrónicamente por un cable que lleva el sensor hacia la unidad de control.

La función de este sensor es la de informar principalmente que el pedal se encuentra en posición de reposo y otra función es la de informar que el pedal ha sido oprimido por parte

del conductor, para que exista un incremento en la velocidad del vehículo por un aumento en la inyección de combustible.

La mayoría de estos sensores cuentan con dos potenciómetros que aumentan la confiabilidad del componente, el sensor se compone por una pista de carbono que está conectada a la fuente de alimentación por un extremo y a tierra en el otro, un contacto del sensor unido mecánicamente se desliza sobre la pista de carbono obteniendo una señal de voltaje (Orozco, José Luis, 2021).



Figura 6.1 Sensor de posición del pedal del acelerador

Fuente: (Jorge Penagos, 2022)

1.6.2.5 Sensor de Presión Del Conducto Principal “RAIL” (FRP).

Este sensor se encarga de detectar la presión existente en el riel mediante el efecto piezoeléctrico enviando una señal a la ECU al variar el voltaje de la presión existente, el sensor es alimentado con un voltaje de 5V y a medida que la presión del combustible se incrementa en el riel, se reduce el valor de la resistencia al mismo tiempo que su tensión aumenta (Augeri, 2011).



Figura 7.1 Sensor FRP

Fuente: (Oscar Landaverde, 2022)

1.6.2.6 Medidor de Masa de Aire (MAF).

Es un sensor del tipo piezoeléctrico el cual detecta los cambios de presión que ocurre dentro del múltiple de admisión para controlar el suministro de combustible en diferentes altitudes y régimen del motor, con dicha información la unidad electrónica de control controla el tiempo de encendido, los pulsos para la apertura de los inyectores, a purga de la recirculación de gases y el ralenti mínimo del motor (Cisneros Rodriguez, pág. 37).



Figura 8.1 Sensor MAF

Fuente: (Iván Cisneros, 2014)

1.6.2.7 Sensor de Temperatura Del Líquido Refrigerante (ECT).

Es un sensor primordial del tipo termistor que se localiza en el circuito del líquido refrigerante, este sensor mantiene una temperatura ideal durante el funcionamiento del motor mediante la activación y apagado del electro ventilador, controlando la temperatura en un rango de aproximadamente 100°C (Cisneros Rodriguez, pág. 32).

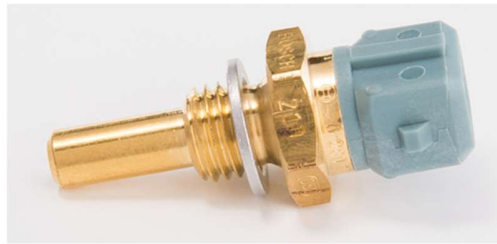


Figura 9.1 Sensor ECT

Fuente: (Bosch, 2023)

1.6.3 La Inyección Diesel

Con el incremento del parque automotor día a día, ha venido surgiendo mayores exigencias que se debe de tomar en cuenta principalmente los fabricantes de motores o plantas ensambladoras, controlando las emisiones de gases, el ruido que genera el vehículo, el desempeño vehicular y economía en cuanto a consumo se trata y para lograr dichas exigencias el principal sistema que se puede mejorar es el sistema de inyección, para comprender este sistema se describe los principales componentes a continuación.

1.6.3.1 Circuito de Baja Presión (Alimentación).

El principal objetivo de este componente es el de almacenar, filtrar y suministrar combustible al sistema de inyección a la presión necesaria, cumpliendo también con el retorno del combustible al depósito o a la cañería principal de suministro de la bomba. En ciertos casos el combustible puede ser refrigerado antes de ser enviado al depósito de combustible.

1.6.3.2 Circuito de Alta Presión (Inyección).

El sistema de inyección controla la cantidad ideal de combustible que debe de ingresar a la cámara de combustión en el momento indicado y a una presión óptima de trabajo; Los inyectores permiten el paso del combustible dentro de la cámara y la bomba de inyección se encarga de generar la alta presión del combustible serían los principales componentes de este circuito, estos componentes están unidos a través de una línea de alta presión.

En la mayor parte de este sistema la punta del inyector permite el paso de combustible cuando alcanza una presión superior en la parte inferior permitiendo el paso de combustible y cierra el paso cuando esta presión disminuye, esto se puede controlar externamente mediante un control electrónico en el caso de los sistemas common-rail.

1.6.4 Inyectores Piezo eléctricos

Pierre Curie y su hermano Jacques realizaron un descubrimiento de un fenómeno poco conocido en el año de 1880, que en la actualidad se lo emplea constantemente en diversas áreas, a este fenómeno se lo denomina efecto piezoeléctrico que consiste en inducir una carga eléctrica sobre un cristal de cuarzo generando una deformación del mismo, que pueden contraerse o dilatarse dependiendo de la polarización aplicada (ROBERT BOSCH, 2005, pág. 38).

Los inyectores piezoeléctricos son utilizados en los sistemas de inyección directa que comúnmente se lo conoce como common-rail en donde la presión suministrada por la bomba de combustible llega a los 2 000 bares permitiendo un correcto funcionamiento.

Este sistema consta de; conductos o cañerías para el suministro de combustible y para el retorno hacia el tanque, un módulo fabricado en un mineral especial denominado cuarzo de tipo multicapas, amplificador hidráulico, un embolo con válvula actuadora y una tobera

con orificios, aguja dosificadora con un muelle, conductos internos y conexiones eléctricas para el control de mando (Navas Cubas, 2018, pág. 17).

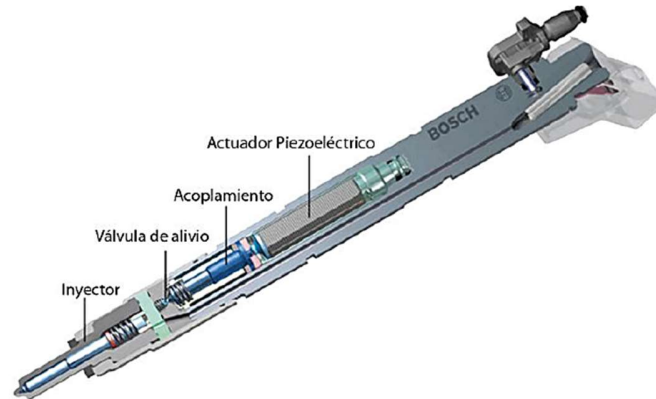


Figura 10.1 Partes de un inyector piezo eléctrico

Fuente: (BOSH, 2019)

1.6.5 Funcionamiento Mecánico de Inyectores Piezo eléctricos

Para conseguir un control estable en la inyección y de esta forma lograr reducir el consumo de combustible y las emisiones de gases tóxicos se ha optado por la inclusión de elementos piezoeléctricos en la construcción de inyectores diésel de última generación este sistema logra mejoras como actuar el doble de rápido que un inyector electromagnético además disminuye el peso de este.

La función del inyector piezoeléctrico se asemeja al de un inyector electromagnético y se enfoca en el efecto piezoeléctrico inverso, este efecto trabaja mediante la aplicación de cargas eléctricas a un conjunto de placas de cuarzo, así se consigue la dilatación de este elemento, al cambiar su forma se inicia el proceso de inyección, empiezan a trabajar los elementos hidráulicos dentro del inyector.



Figura 11.1 Activador piezo eléctrico

Fuente: (Fernando Augeri, 2010)

1.6.5.1 Operación del inyector piezo eléctrico

La unidad electrónica de control dispone del mecanismo en el interior del inyector que realiza las diferencias de presiones y el movimiento mecánico posibilitando así la salida de combustible al cilindro. Para este fin la ECU envía sobre el componente piezoeléctrico una tensión inicial de unos 70 V por un tiempo de 0,2mseg. Ya en el interior, los cristales logran elevar este voltaje a unos 140 V, esto toma otros 0,2 ms y se logra con una corriente de aproximadamente 7 Amperios. A este proceso se lo llama tensión de carga y corriente de carga. El aumento de tensión se logra gracias al contacto entre los mismos cristales los cuales logran multiplicar el efecto de voltaje. Para terminar el proceso de inyección es necesario colocar otro impulso de tensión final llamado tiempo de descarga esto toma alrededor de otros 0,2 ms (Augeri, Fernando, 2017, pág. 1).

En la siguiente grafica se aprecia la relación de corriente, voltaje y desplazamiento de la aguja del inyector.

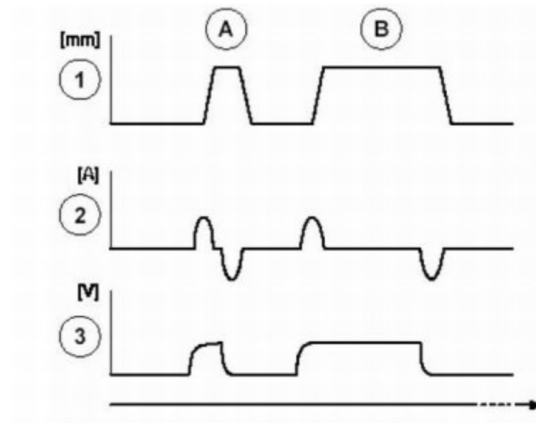


Figura 12.1 Pulsos de inyector piezo eléctrico

Fuente: (Augeri, 2017)

- A. Cantidad de preinyección
 - B. Cantidad de inyección principal
1. Carrera de la aguja del inyector (mm)
 2. Corriente de activación (amperios)
 3. Tensión (voltios)

En la gráfica se puede estimar que existe una preinyección y una inyección principal. Si se analiza la gráfica de corriente se identifica que es necesario realizar una descarga de la corriente acumulada en el piezoeléctrico para lograr que el mismo vuelva a su estado inicial y pare la inyección (Augeri, Fernando, 2017).

Inyector cerrado – Inicio de inyección

Al no recibir energía eléctrica, el actuador piezoeléctrico se encuentra en estado de reposo y el inyector cerrado. Para iniciar la inyección, la unidad alimenta el actuador con positivo y negativo. Al recibir tensión y por efecto piezoeléctrico inverso, el actuador se dilata y abre el inyector (Archilla Felipe, 2016, pág. 3).

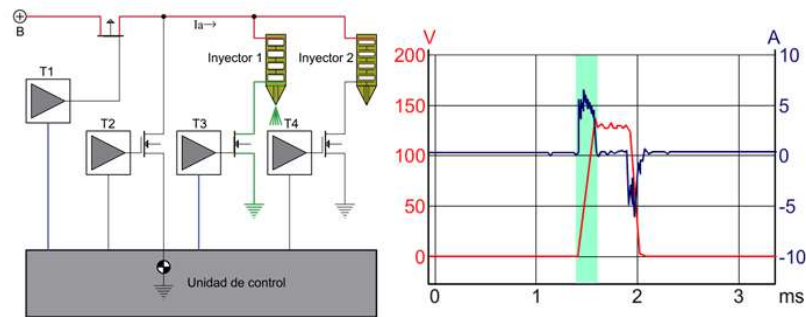


Figura 13.1 Inicio de la inyección

Fuente: (Archilla, 2015)

Inyector abierto - Inyección

Una vez abierto, se detiene el paso de energía. El actuador funciona como un condensador, es decir, retiene la carga eléctrica, permaneciendo dilatado y el inyector abierto. Por esta razón no es conveniente desconectar un inyector piezoeléctrico con el motor encendido, ya que puede quedarse en estado de inicio de inyección esto puede ocasionar graves averías en el motor (Archilla Felipe, 2016, págs. 4-5).

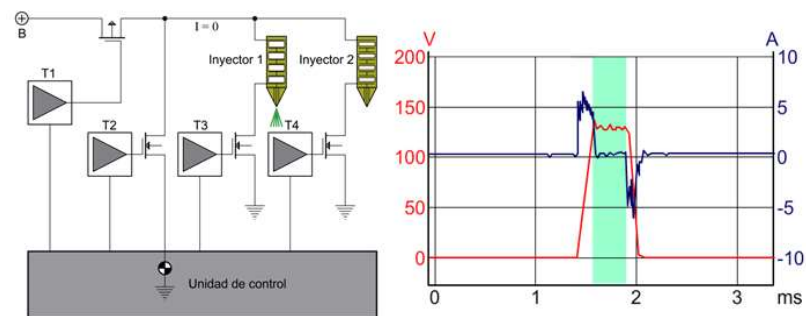


Figura 14.1 Inyección

Fuente: (Archilla, 2015)

Inyector cerrado – Final de la inyección

Cuando la inyección finaliza es el momento de cerrar el inyector, esto se consigue mediante la unidad de control, que, actúa como un consumidor y descarga la tensión que se

acumuló en el actuador debido a las fases anteriores, el elemento piezoeléctrico regresa a su posición inicial (Archilla Felipe, 2016).

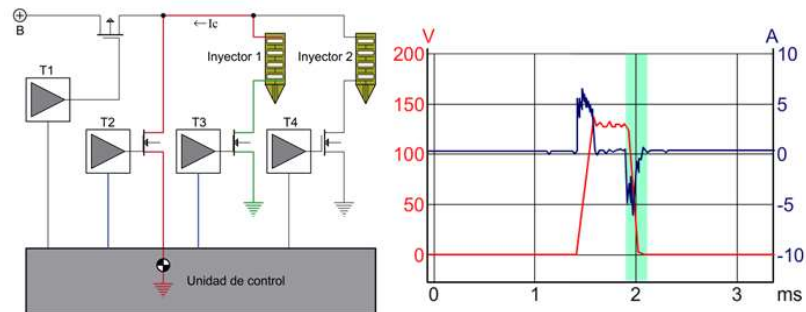


Figura 15.1 Final de la Inyección

Fuente: (Archilla, 2015)

La intensidad se invierte una vez descargado el actuador, el material piezoeléctrico retorna a la posición de reposo como se puede observar en la figura 16.

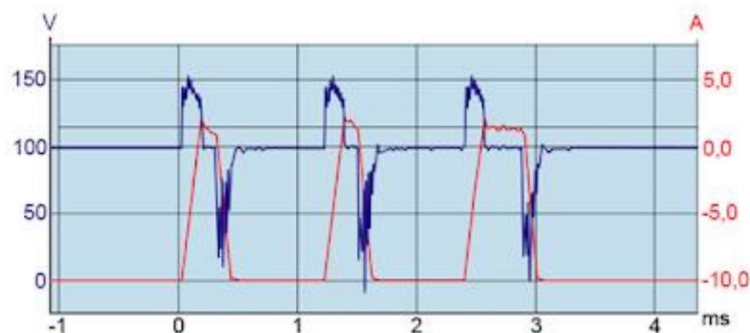


Figura 16.1 Voltaje de señal del inyector piezo eléctrico

Fuente: (Archilla, 2015)

Los inyectores piezoeléctricos permiten controlar de una manera más eficiente las fases y cantidades de inyección en un mismo ciclo. Así el funcionamiento del motor se adapta de una excelente manera a las exigencias y control de las normas anticontaminación, además de brindar presiones más altas de hasta 2000 bares (Archilla Felipe, 2016, págs. 1-5).

1.7 Problemas de los Inyectores Piezo Eléctricos:

1.7.1 Problemas Eléctricos

El componente principal de este inyector es un cristal mineral que generalmente es de cuarzo, tiene la característica principal de dilatarse cuando se le induce una corriente eléctrica, el inyector está construido por numerosos cristales que al deformarse puede desplazar la aguja que permite el paso del combustible a la cámara de combustión, este proceso se repite varias veces y de una forma muy precisa en fracciones de segundo (Fran García, 2018).

El inyector piezoeléctrico tiene una desventaja en la que sus cristales tienen un número de ciclos de funcionamiento limitado, es decir que, al suministrar una corriente eléctrica al cristal, este no va a reaccionar y por ende se tendría que reemplazar el inyector.

1.7.2 Problemas por Fugas

Los inyectores tienen una función importante en el vehículo y es la de suministrar combustible de forma atomizada en todo momento, sufriendo así, un desgaste continuo que, incluyendo la complejidad de sus partes, aumenta el posible riesgo de una avería.

Las piezas internas del inyector llegan a un punto en el que dejan de ser herméticas retornando el combustible por la línea de retorno en lugar de dirigirse hacia la cámara de combustión, esto hace que se produzcan pérdidas de presión conllevando a un mayor consumo por una mala atomización del combustible, generando mayor cantidad de gases contaminantes y carbonilla (David Plaza, 2020).

1.7.3 Problemas en la Punta del Inyector (Tobera)

Esta sección del inyector se encuentra dentro de la cámara de combustión misma que queda expuesta a presiones y temperaturas elevadas lo que origina un desgaste en los orificios o taponamiento en cada salida del inyector, pudiendo perder su formar original afectando la

pulverización del combustible. Este problema se ocasiona comúnmente por utilizar combustibles de baja calidad y por no cambiar los filtros de combustible periódicamente (David Plaza, 2020).



Figura 17.1 Tobera de inyector en buen y mal estado

Fuente: (Tunap Group, 2016)

1.8 Mantenimiento de Inyectores

Se recomienda realizar una limpieza de los inyectores a los 100 000 kilómetros, evitando el riesgo que por alargar dicho tiempo estos presenten mayor obstrucción en sus conductos, recordando que más difícil será su limpieza si se encuentran muy obstruidos, se debe realizar una revisión cuando el vehículo presente estos casos:

- Incremento en el consumo de combustible
- Pérdida de potencia
- Presencia de humo negro en el escape
- Sobrecalentamiento del motor
- Detonaciones o golpeteos en el motor
- Demora en el encendido

Para un buen funcionamiento del vehículo se debe de tener en cuenta varios aspectos que ayudarían al buen estado del componente y por ende el buen desempeño del automotor, entre estos se puede destacar los siguientes:

1.8.1 Usar Aditivos Limpia Inyectores

Estos aditivos se pueden agregar al momento de cargar el combustible y se encarga de limpiar todos los componentes que constituyen al sistema de inyección, realizando una limpieza a profundidad y retirando impurezas que puedan obstruir al inyector.

1.8.2 Cambio del Filtro de Combustible

El filtro de combustible se encarga principalmente de retener la mayor cantidad de impurezas que pueden existir en combustible y la presencia de agua por condensación u otros factores, este proceso se puede decir que es el más sencillo de ejecutar, y puede ahorrarnos problemas en el sistema y económicamente.

1.8.3 Combustible de Buena Calidad

En este punto cabe destacar que al usar combustibles mal filtrados o con impurezas desde el origen, conllevaran a que lo inyectores se desgasten prematuramente por fricción o por obstrucciones en sus orificios, dejando como resultado una deficiencia en proceso de inyección.

1.8.4 Uso de Biodiesel

Aunque este tipo de combustible es muy beneficioso para el medio ambiente se debe de tomar en cuenta que el mismo absorbe agua y humedad, lo que puede originar el efecto de corrosión en los componentes, obstruyendo y deteriorando el sistema de inyección.

1.8.5 Régimen Estable de Revoluciones

En este aspecto se recomienda circular a más de 2 000 rpm, puesto a que ir por debajo de esta condición es perjudicial para el motor debido a que genera más partículas de carbonilla, vibraciones altas afectando así el sistema.

1.9 Mantenimiento Especializado de Inyectores

Para realizar este tipo de mantenimiento se debe de realizar en un taller especializado y con técnicos capacitados en el tema para evitar daños en el componente. En este punto existen dos tipos de mantenimiento: por ultrasonido, por recirculación o de barrido.

1.9.1 Limpieza de Inyectores por Ultra Sonido

Esto se lo realiza en un taller especializado empleando un equipo de ultrasonido con frecuencias que van de 15-400 kHz y el uso de aditivos o líquidos especiales para que el proceso tenga una mayor eficacia. Este proceso es costoso debido al tiempo por el desmontaje de los componentes y por los productos que se utilizan para realizar la limpieza.



Figura 18.1 Limpieza de inyectores por ultra sonido

Fuente: (Clifton Klaverweiden, 2012)

1.9.2 Limpieza de Inyectores por Recirculación o Barrido

Durante este proceso el inyector no se desmonta del vehículo y se coloca un aditivo limpiador de inyectores en recipiente el cual se lo hace circular por el sistema de inyección hasta que el producto se termine, este proceso es más efectivo puesto a que el producto no se diluye con otro líquido.

CAPÍTULO II

2. Materiales y Métodos

Para la elaboración del trabajo de grado se requiere principalmente del vehículo Volkswagen Amarok que es el componente clave para llevar a cabo las pruebas correspondientes, también se utilizaron equipos de diagnóstico y diferentes métodos de investigación que nos permitieron desarrollar y ampliar nuestros conocimientos referentes a lo que son inyectores piezo eléctricos, a continuación, se detalla los materiales y métodos utilizados.

2.1 Materiales

2.1.1 Banco Comprobador de Inyectores V-3500

Este equipo nos permite visualizar los ciclos de inyección; preinyección, inyección principal y post - inyección, y nos ayuda a verificar en qué estado se encuentra el inyector o si presenta alguna avería.



Figura 19.2 Banco Comprobador de Inyectores V-3500

Funciones que se puede ejecutar en el equipo V-3500:

- Comprobación de resistencias del inyector
- Pruebas de inyección
- Mide el caudal de combustible utilizado en los ciclos de inyección
- Muestra la presión de inyección del inyector
- Permite la evaluación de rocío del inyector

Ventajas

- Se puede operar a presiones de 0-1980 bar
- Nos permite controlar el pulso de inyección de una manera precisa
- Cuenta con dos filtros en el sistema de alimentación para unas pruebas fiables

Desventajas

- Es un equipo de peso y dimensiones altas por lo que es difícil su transporte
- El costo de mantenimiento es elevado
- No es práctico como para utilizarlo fuera del taller debido a sus dimensiones

2.1.2 Vehículo Volkswagen Amarok

El vehículo que contempla la investigación es la camioneta Amarok de la marca Volkswagen perteneciente a la Carrera de Ingeniería Automotriz de la Universidad Técnica del Norte. El vehículo ha presentado inconvenientes en el encendido por lo que se lo ha seleccionado para realizar pruebas de funcionamiento y analizar los componentes que han sufrido desgaste de los cuales están originando dichos problemas para posteriormente reemplazarlos.



Figura 20.2 Camioneta Volkswagen Amarok

Detallando brevemente, el vehículo se trata de un motor a combustión interna de ciclo Diesel de 4 cilindros que otorga una potencia de 161 caballos de fuerza, suficiente para moverse libremente en carretera o en caminos de difícil acceso, su consumo es relativamente bajo, de 13,6 -16,58 km/l y la capacidad del tanque es de 80 litros lo que nos permite recorrer 1 100 km aproximadamente por carga.

Ficha técnica Volkswagen Amarok

Tabla 1 Características Volkswagen Amarok 2.0 TDI

Características Volkswagen Amarok 2.0 TDI	
Año de producción	2011
Tipo de motor	Motor de cuatro cilindros en línea, sistema common-rail
Capacidad	1968 cm ³
Potencia	90 KW a 3 750 rpm.
Par motor	340 Nm
Rines/Aros	Acero 16"
Neumáticos	245/70 R16
Tracción	Tracción trasera 4x2
Transmisión	Transmisión manual de 6 marchas
Peso	1872-2064 kg
Capacidad de carga	775-1147 kg
Capacidad del tanque	80 litros
Aceleración 0-100 km/h	13,5 s
Velocidad máxima	163 km/h
Consumo de combustible	13,6-16,58 km/l
Emisiones de CO₂	192-194- g/km
Normativa europea	Euro 5

2.1.3 Inyector Piezo Eléctrico

Inyector piezo eléctrico BOSCH



Figura 21.2 Inyector Piezo Eléctrico BOSCH

Tabla 2 Características inyector Bosch

CARACTERÍSTICAS	
Número de referencia	0445116034
Dimensiones	25x12x6 cm
Poder	20 W
Voltaje	12 V -160 V
Denominación	Inyector sistema CR
Normativa	Euro 5

2.1.4 Equipo de Diagnóstico FSA 740

El equipo FSA 740 es de mucha utilidad para brindarnos un diagnóstico más preciso y rápido. Este equipo cuenta con un amplio paquete de instrumentos de medida, que conjuntamente con sensores, ordenador (PC) para ejecutar diferentes pruebas y se lo puede transportar gracias a su estructura correctamente diseñada para almacenar y organizar sus elementos. Las pruebas se las puede realizar gracias a pasos guiados en

el menú de opciones del ordenador, haciendo así posibles reparaciones rápidas y efectivas.



Figura 22.2 Equipo de Diagnóstico FSA 740

Tabla 3 Características Equipos FSA 740

FICHA TÉCNICA	
Osciloscopio de 2 canales	Velocidad de exploración 50 MS/s
Generador de Señales	10 a 12 V con 4 formas de señal
Rango de medición de tensión	0 hasta 60 V
Rango de medición de corriente	0 hasta 1000 A
Rango de medición de resistencia	0 hasta 1 MΩ
Rango de medición velocidad de rotación	100 hasta 12 000 1/min
Peso	91 kg
Dimensiones (A x A x P)	1780 x 860 x 760 mm

2.2 Metodología

2.2.1 Diagnóstico del Sistema de Inyección

La bomba de alta y baja presión son controladas directamente por la ECU mediante sensores que utilizan las señales captadas para rectificar la presión necesaria para el riel

común (2 500 psi). La unidad de control electrónica actúa sobre la bomba de baja presión para que genere la presión correcta hacia la bomba de alta presión.

Técnicamente el sistema utiliza señales emitidas por sensores, los cuales influyen directamente en el caudal de la bomba, por tal motivo se requiere de manómetros, multímetro, scanner y osciloscopios, para tener una idea clara de las presiones a las que se trabaja.

2.2.2 Diagnóstico de Baja Presión

El sistema de baja presión (bomba) se encarga de proveer la cantidad y presión correcta de combustible hacia el sistema de alta presión, para verificar esta presión se requiere de un manómetro el cual nos indica la presión en el circuito previo a la bomba de alta presión, estos valores deben estar entre los 1,5 y 3,5 bares de presión.

Problemas con la bomba de combustible

- El motor tarda en encenderse normalmente
- El motor no enciende

Ciertos vehículos cuentan con un sistema de respaldo en el cual, si la ECU detecta una falla en la presión del riel por parte del sensor de presión, esta puede activar la bomba de suministro y controlar la apertura del inyector para que pueda continuar la marcha, pero con potencia limitada.

2.2.3 Diagnóstico de Alta Presión

Para poder realizar un diagnóstico adecuado en el sistema de alta presión se consigue por medio de; un escáner automotriz, osciloscopio y multímetro, el scanner automotriz es el más indicado para realizar la toma de presiones por que brinda información actualizada mediante graficas en todo momento.

Determinar la presión en el riel común mediante un scanner automotriz

Para medir la presión utilizando un scanner automotriz se siguen los siguientes pasos:

- Conectamos el scanner automotriz al puerto OBD del vehículo
- Seleccionamos en el scanner el modelo, marca y año de fabricación del vehículo
- Verificamos la presión que detecta el sensor de presión del riel (FRP)

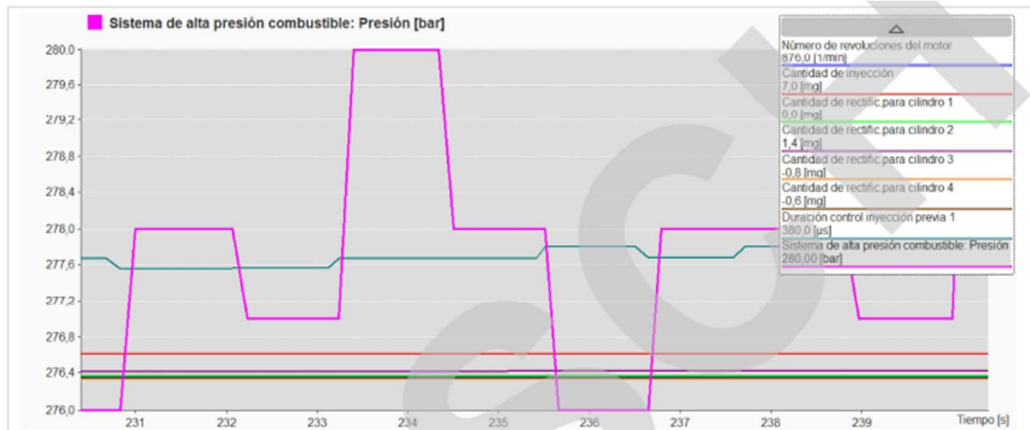


Figura 23.2 Presión del combustible

Fuente: ESI tronic

Determinar la presión del riel común mediante un multímetro

Determinamos el socket del sensor de presión de riel, el conector tiene tres cables que se los identifica como:

- Cable número 1: voltaje de alimentación del sensor
- Cable número 2: voltaje de señal del sensor

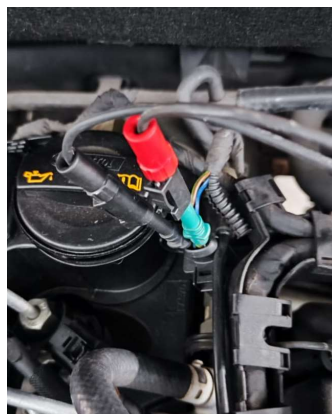


Figura 24.2 Referencia cables inyector

Colocamos la punta positiva del multímetro en el cable número uno y la punta negativa del multímetro la colocamos a masa, después procedemos con la medición del voltaje.

Determinar la presión del riel común mediante un osciloscopio

Colocamos el terminal del canal A de del osciloscopio en el pin de alimentación del sensor y el terminal negativo del osciloscopio a una conexión a masa del vehículo.

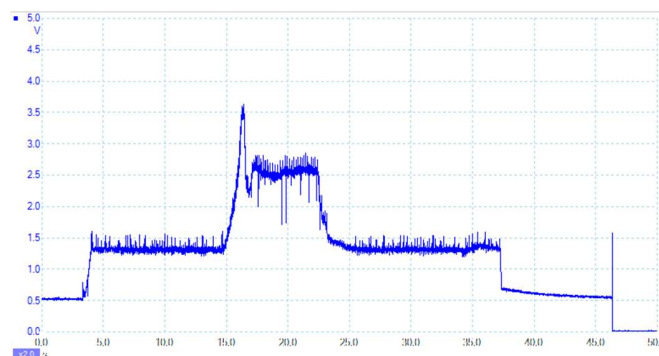


Figura 25.2 Ondas de presión en riel común

Analizando el gráfico se puede identificar que la tensión inicial es de 0,5 V que corresponde a una presión de 0 bares, si el valor de voltaje es de 0 es porque hay una avería en el sistema. Al dar arranque al vehículo, el voltaje se incrementa hasta unos 0,9 V lo que significa que estaría a una presión de 200 bares, significando que el motor se encuentra en ralentí. Después pisando el acelerador a fondo la tensión oscilara entre los 2 a 4,5 V inyectando una mayor cantidad de combustible para acelerar el motor, después de liberar el pedal de aceleración, la lectura debe bajar a los 0,9 V manteniéndolo estable. Para el apagado de motor la lectura de señal debe bajar paulatinamente de 0,9 a los 0,5 V en un tiempo de 10 segundos aproximadamente, de ser que baje inmediatamente al valor de 0,5 V es porque el sistema presenta una avería, posiblemente una fuga en los inyectores o en la bomba de alta presión.

2.3 Diagnóstico Electrónico de Inyectores

Los inyectores piezo eléctricos han sido desarrollados para mejorar la dosificación y la homogenización de la mezcla del combustible cuyas ventajas han servido para homologar a los vehículos que utilizan esta tecnología, reduciendo la cantidad de emisiones que pueden ser perjudiciales.

El efecto piezo eléctrico empleado en los inyectores necesita de tolerancias sumamente bajas y al ser sus partes tan pequeñas y al funcionar a altas velocidades se requiere que el combustible este constantemente en el circuito para evitar un desgaste por fricción y temperatura.

Los problemas de los inyectores al estar obstruidos o con fugas, mostrarán indicios de; pérdida de potencia, atracones, inestabilidad en la marcha, humo negro, complicaciones al arrancar, incremento en el consumo de combustible. Para ello se puede realizar una inspección visual, lo que nos permite ver si existe presencia de combustible alrededor de la base del inyector o en las líneas del common rail, afectando al funcionamiento del motor por pérdidas de presión.

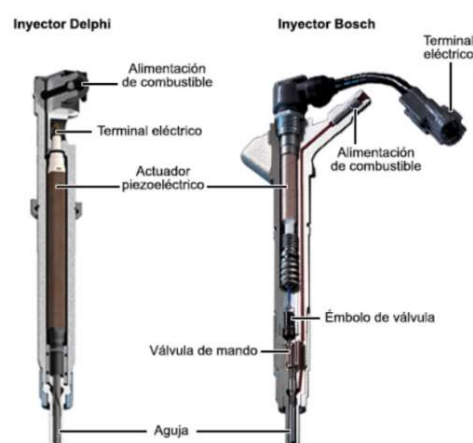


Figura 26.2 Inyectores Piezo Eléctricos

Fuente: (Archilla, 2017)

2.3.1 Prueba de Valor Óhmico (Ohm) en Inyectores Piezo Eléctricos

Para poder realizar un diagnóstico correcto de los inyectores piezo eléctricos y verificar su estado, se puede realizar una prueba de resistencia, esta consiste en el uso de un multímetro colocando las puntas de los terminales en cada pin del sensor se debe de recibir una lectura de 190 – 205 K ohm, si en caso muestra una medida inferior es por que presenta fallos en su parte eléctrica de seguridad, debiendo así sustituir el componente averiado.



Figura 27.2 Comprobación de resistencia en inyector Piezo Eléctrico

Fuente: (ATDautodiagnosis, 2017)

2.3.2 Pruebas de Funcionamiento Mediante el Uso de Osciloscopios

Otra opción para verificar el estado y el funcionamiento de los inyectores piezo eléctricos es el uso de un osciloscopio el cual muestra oscilogramas que indican el comportamiento del componente en el relación a voltaje y amperaje en un tiempo determinado, para obtener un diagnóstico se puede utilizar la información efectuada del funcionamiento y comparar con parámetros preestablecidos verificando así la preinyección, inyección principal y el final de la inyección, con esto si algún inyector no presenta los mismos parámetros o similares, se puede deducir que el inyector presenta una avería en su sistema piezo eléctrico.

2.3.3 Prueba de Aislamiento del Actuador Piezoeléctrico

Para realizar esta prueba se conecta un cable entre cualquier de los terminales del inyector y el otro a masa, en el aparato de medición se le coloca en aislamiento y se selecciona 250V, al realizar la prueba el instrumento debe marcar infinito (∞).

2.3.4 Diagnóstico de Caudal de un Inyector Piezoeléctrico

Para realizar un diagnóstico adecuado de inyectores, se monta el mismo en un banco de pruebas con sus respectivos accesorios simulando el trabajo del motor, de esta forma y con las tablas de calibración adecuadas se podrá determinar al final de las pruebas si el inyector funciona correctamente bajo todas las condiciones del motor, el equipo debe proporcionar la presión necesaria y constante para la prueba como también el tiempo de inyección y la frecuencia de trabajo.

2.3.5 Prueba Toda Carga

En esta prueba se verifica la entrega y el retorno de combustible en condiciones de trabajo forzado es decir cuando el conductor acelera a fondo el vehículo a una presión de 900 bar, si la entrega y el retorno se encuentra entre los parámetros normales el inyector se encuentra en óptimas condiciones, si la entrega y el retorno se encuentran a un nivel por debajo de lo establecido, el inyector puede tener algún tipo de falla lo que ocasionaría una respuesta inadecuada del vehículo debido a que no tendría el suficiente combustible.

2.3.6 Prueba Media Carga

Esta prueba se la realiza a una presión de 700 bar, esto se traduciría en una conducción normal sin esforzar al motor, para este caso también se deben considerar los parámetros establecidos por el fabricante, si el software nos brinda condiciones normales de funcionamiento que se encuentren entre los parámetros el inyector se encuentra en óptimas condiciones.

2.3.7 Prueba a Ralentí

Esta prueba se la realiza en marcha mínima, es decir, cuando el motor del vehículo este encendido sin ningún tipo de aceleración, se la realiza a una presión de 350 bares.

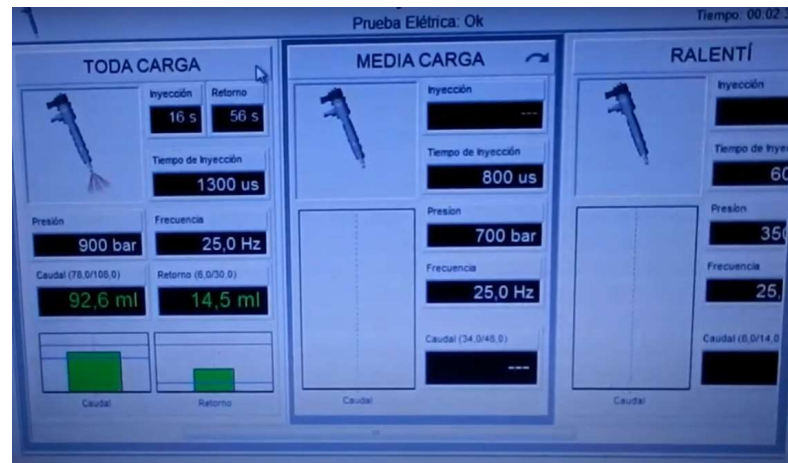


Figura 28.2 Prueba a Ralentí

Con este tipo de diagnóstico, también es posible observar si existe algún tipo de fuga de combustible, además se puede verificar el estado físico de los inyectores para tener datos más concisos sobre el estado del inyector, en algunos casos es posible notar si el mismo presenta daños irreparables a simple vista debido a un posible sobrecalentamiento o por la utilización de combustibles contaminados, para la realización de estas pruebas es necesario limpiar el inyector a plenitud.

2.3.8 Prueba de Pulverización

Mediante esta prueba se puede verificar el estado de la pulverización del combustible y constatar que la forma de chorro sea la correcta. Para realizar la prueba en un inyector electrónico se deben seguir los siguientes pasos:

- Conectar el inyector al banco comprobador de inyectores
- Verificar el estado del socket y conectar a la fuente de alimentación del banco de pruebas

- Conectar la línea de retorno de combustible
- Definir los valores para realizar la prueba
- Observar el efecto de chorro del inyector y si la forma de la pulverización de combustible no es la adecuada se puede determinar que el inyector está en mal estado.

2.3.9 Prueba de Estanqueidad

Esta prueba permite verificar si el inyector presenta goteos al estar sometido a una presión determinada. Para realizar esta prueba se la puede realizar de la siguiente forma:

- Conectar el inyector al banco comprobador de inyectores
- Verificar el estado del socket y conectar a la fuente de alimentación del banco de pruebas
- Conectar la línea de retorno de combustible
- Definir los valores para realizar la prueba: 200 bar
- Observar que el inyector no muestre señales de que gotee, si muestra lo contrario se puede determinar que el inyector se encuentra en mal estado y se lo tendría que reparar o reemplazar.



2.4 Desmontaje de Inyectores





Para realizar el desmontaje de los inyectores se debe de tomar las debidas precauciones tanto personales o como para evitar que los componentes que constituyen al inyector sufran averías, al realizar el desmontaje se debe marcar el inyector indicando de que cilindro fue extraído debido a que los inyectores cuentan con códigos individuales de funcionamiento.




Figura 29.2 Código inyector

Tabla 4 Pasos para el desmontaje de los inyectores

DESMONTAJE DE INYECTORES		
N°	Descripción	Descripción gráfica
1	El motor debe estar apagado para disminuir la presión del sistema	
2	Desconectar los bornes de la batería	


3	Limpieza superficial del exterior del componente	
4	Desconectar el socket de retorno del inyector	
5	Desconectar las cañerías de combustible del inyector	
6	Desconectar el socket eléctrico del inyector	





7	Extraer el inyector	
---	---------------------	--


2.5 Pruebas de Presiones

Para comenzar con la prueba de presiones en el banco V-3500 se debe de seguir un protocolo que nos ayuda a prevenir daños en dicho equipo, tomar en cuenta los siguientes pasos:

Tabla 5 Protocolo para el uso del banco de pruebas



REVISIÓN DEL BANCO DE PRUEBAS		
Paso N°	Descripción	Descripción gráfica
1	Verificar que el un extremo del cable de alimentación esté conectado al banco de pruebas.	

2	Verificar que el otro extremo del cable de alimentación se conecte a una red de 110 v.	
3	Cerciorarse de la posición adecuada del botón de encendido.	
4	Verificar que el depósito lubricante no presente fugas y que este al nivel de funcionamiento adecuado.	
5	Seleccionar la posición del interruptor en el modo Piezo	

6	Verificar que en la trampa de agua no haya presencia de agua o de impurezas.	
7	Verificar que los visores cilíndricos no se encuentren en mal estado o con suciedad.	
8	Verificar que las mangueras de retorno no estén en mal estado u obstruidas.	
9	Verificar que las cañerías de alta presión no estén en mal estado u obstruidas.	
10	Verificar que los cables y conectores no presenten averías.	
11	Encender el equipo una vez hayan sido instalados los inyectores.	

Para realizar el montaje de los inyectores en el banco de pruebas se lo debe realizar de la siguiente manera:

Tabla 6 Pasos para el montaje de inyectores

MONTAJE DE INYECTORES		
Paso N°	Descripción	Descripción gráfica
1	Retirar las cubiertas protectoras de los inyectores (opcional).	
2	Escoger las cañerías adecuadas para el inyector a utilizar.	
3	Enroscar correctamente las cañerías al inyector/banco para evitar daños en los componentes.	
4	Conectar las líneas de retorno de combustible.	
5	Ajustar con el apriete necesario para evitar fugas	

6	Fijar el inyector al banco por ajuste.	
7	Escoger los cables de conexión adecuados para el inyector.	
8	Conectar los sockets tanto al inyector como al banco de pruebas	
9	Realizar una inspección general.	

2.6 Despiece del Inyector

El inyector piezo eléctrico consta de las siguientes partes:

- Cuerpo del inyector
- Tuerca de la tobera
- Tobera
- Aguja
- Arandela de seguridad
- Resorte de la aguja
- Cámara de control
- Placa
- Resorte de la válvula de cierre
- Válvula de cierre
- Cámara de cierre
- Amplificador hidráulico

Las partes que constituyen al amplificador hidráulico son:

- Pistón de mando
- Muelle del pistón de mando
- Cilindro con orificio de lubricación y de carga
- Resorte del pistón amplificador
- Pistón amplificador

2.7 Datos Nominales de Inyector Piezo Eléctrico Nuevo

2.7.1 Pruebas del Inyector a una Presión De 300 Bar

Tabla 7 Prueba del inyector Bosch piezo eléctrico con una presión de 300 bar, con tiempos de inyección de 0.5, 1, 2 ms

Presión (bar)	Número de inyecciones	Tiempo de inyección (ms)	Caudal de inyección (mm ³)	Caudal de retorno (mm ³)	Corriente de activación (A)	Voltaje de activación (V)
300	300	0,5	2,6	0	18,2	156
300	300	1	2,5	0,3	18,3	158
300	300	2	2,6	1,4	18,3	156
300	600	0,5	2,4	1,2	18,1	157
300	600	1	2,6	1,6	18,2	157
300	600	2	2,3	6	18,2	158
300	850	0,5	2,5	4,2	18,3	156
300	850	1	2,6	6,1	18,3	157
300	850	2	2,4	10,5	18,1	156

En la tabla número 7 se muestra que los datos variables son únicamente la presión de prueba, el número de inyecciones y el tiempo de inyección, mostrando que va aumentando el número de inyecciones y el tiempo de inyección, a su vez, el caudal de inyección y de retorno van incrementando proporcionalmente.

Por otra parte, la corriente de activación del inyector va desde un rango de 18,2 A con una ligera variación hasta los 18,4 A, obteniendo así un consumo promedio de 18,27 en una presión constante de 300 bares.

2.7.2 Pruebas del Inyector Nuevo a una Presión de 500 Bar

Tabla 8 Prueba del inyector Bosch piezo eléctrico con una presión de 500 bar, con tiempos de inyección de 0.5, 1, 2 ms

Presión (bar)	Número de inyecciones	Tiempo de inyección (ms)	Caudal de inyección (mm ³)	Caudal de retorno (mm ³)	Corriente de activación (A)	Voltaje de activación (V)
500	300	0,5	7,5	0	18,1	157
500	300	1	15,2	1,2	18,1	158
500	300	2	27,5	3,7	18,2	156
500	600	0,5	15,6	3,1	18,1	157
500	600	1	28,25	4	18,3	156
500	600	2	51,5	7,3	18,2	156
500	850	0,5	24,1	5,7	18,1	157
500	850	1	38	5,1	18,3	158
500	850	2	74,2	10,3	18,1	157

En la tabla número 8 se muestra que los datos variables son únicamente la presión de prueba, el número de inyecciones y el tiempo de inyección, mostrando que va aumentando el número de inyecciones y el tiempo de inyección, a su vez, el caudal de inyección y de retorno van incrementando proporcionalmente.

Por otra parte, la corriente de activación del inyector va desde un rango de 26,9 A con una ligera variación hasta los 30,3 A, obteniendo así un consumo promedio de 28,5 en una presión constante de 500 bares.

2.7.3 Pruebas del Inyector Nuevo a una Presión de 600 Bar

Tabla 9 Prueba del inyector Bosch piezo eléctrico con una presión de 600 bar, con tiempos de inyección de 0.5, 1, 2 ms

Presión (bar)	Número de inyecciones	Tiempo de inyección (ms)	Caudal de inyección (mm ³)	Caudal de retorno (mm ³)	Corriente de activación (A)	Voltaje de activación (V)
600	300	0,5	8,5	0	18,1	157
600	300	1	12,9	1,1	18,1	158
600	300	2	33,8	4,3	18,2	156
600	600	0,5	16,3	2,4	18,1	157
600	600	1	31,5	5,2	18,3	156
600	600	2	66,7	9	18,2	156
600	850	0,5	25,9	5,5	18,1	157
600	850	1	42,4	5,9	18,3	158
600	850	2	96,4	13,2	18,1	157

En la tabla número 9 se muestra que los datos variables son únicamente la presión de prueba, el número de inyecciones y el tiempo de inyección, mostrando que va aumentando el número de inyecciones y el tiempo de inyección, a su vez, el caudal de inyección y de retorno van incrementando proporcionalmente.

Por otra parte, la corriente de activación del inyector va desde un rango de 30,2 A con una ligera variación hasta los 33,5 A, obteniendo así un consumo promedio de 31 en una presión constante de 700 bares.

CAPÍTULO III

3. Resultados

3.1 Análisis Visual del Estado de los Inyectores

Mediante una inspección visual se puede apreciar que presentan falencias en el funcionamiento, con indicadores de carbón en la punta de las toberas lo cual es símbolo de fuga de presión por falta de estanqueidad en el componente y por una mala pulverización del combustible, por otra parte, nos cercioramos mediante pruebas mecánicas y eléctricas en el que los componentes muestran ciertos valores fuera de parámetros normales afectando así el rendimiento del motor.



Figura 30.3 Inyectores Volkswagen Amarok

3.2 Análisis de Resultados del Comportamiento Mecánico y Electrónico de los Inyectores Piezoeléctricos BOSCH

Aplicando protocolos en relación con el comportamiento mecánico y electrónico de los inyectores se realizó el análisis de los datos obtenidos en cada una de las pruebas realizadas en el taller de la carrera de ingeniería automotriz, en donde se definieron distintos parámetros para ejecutar las pruebas necesarias.

Para el desarrollo del proyecto se empleó el banco de pruebas de inyectores V-3500, el cual permite establecer parámetros como; tiempos de inyección, presiones en el inyector, número de inyecciones y conjuntamente con el uso de un multímetro, ordenador personal y pinza amperimétrica, se obtiene valores de voltaje, la corriente empleada, tiempos de activación, caudal de activación y retorno.

3.3 Análisis de Pruebas del Inyector Número 1

3.3.1 Análisis de Pruebas del Inyector Número 1 Presión de 300 Bar

Tabla 10 Prueba del inyector Bosch piezo eléctrico con una presión de 300 bar, con tiempos de inyección de 0.5, 1, 2 ms

Presión (bar)	Número de inyecciones	Tiempo de inyección (ms)	Caudal de inyección (mm ³)	Caudal de retorno (mm ³)	Corriente de activación (A)	Voltaje de activación (V)
300	300	0,5	2,3	0	18,2	158
300	300	1	2,3	0,4	18,2	158
300	300	2	2,5	1,7	18,2	156
300	600	0,5	2,2	1,1	18,1	157
300	600	1	2,5	1,3	18,2	157
300	600	2	2,1	5	18,1	157
300	850	0,5	2,4	4,1	18,1	157
300	850	1	2,2	6	18,2	156
300	850	2	2,3	9,3	18,3	158

En la tabla número 10 se muestra que los datos variables son únicamente la presión de prueba, el número de inyecciones y el tiempo de inyección, mostrando que va aumentando el número de inyecciones y el tiempo de inyección, a su vez, el caudal de inyección y de retorno van incrementando proporcionalmente.

Por otra parte, la corriente de activación del inyector va desde un rango de 18,1 A con una ligera variación hasta los 18,3 A, obteniendo así un consumo promedio de 18,17 A en una presión constante de 300 bares.

3.3.2 Análisis de Pruebas del Inyector Número 1 a la Presión de 500 Bar

Tabla 11 Prueba del inyector Bosch piezo eléctrico con una presión de 500 bar, con tiempos de inyección de 0.5, 1, 2 ms

Presión (bar)	Número de inyecciones	Tiempo de inyección (ms)	Caudal de inyección (mm ³)	Caudal de retorno (mm ³)	Corriente de activación (A)	Voltaje de activación (V)
500	300	0,5	7,3	0	18,2	157
500	300	1	15,5	1,4	18,1	157
500	300	2	25	3,9	18,1	158
500	600	0,5	16	3,5	18,3	156
500	600	1	25	4,4	18,2	156
500	600	2	53,3	7,8	18,0	157
500	850	0,5	21	5,9	18,2	156
500	850	1	35	5,5	18,0	158
500	850	2	69,3	10,8	18,0	156

En la tabla número 11 se muestra que los datos variables son únicamente la presión de prueba, el número de inyecciones y el tiempo de inyección, mostrando que va aumentando el número de inyecciones y el tiempo de inyección, a su vez, el caudal de inyección y de retorno van incrementando proporcionalmente.

Por otra parte, la corriente de activación del inyector va desde un rango de 18 A con una ligera variación hasta los 18,3 A, obteniendo así un consumo promedio de 18,12 A en una presión constante de 500 bares.

3.3.3 Análisis de Pruebas del Inyector Número 1 a la Presión de 600 Bar

Tabla 12 Prueba del inyector Bosch piezo eléctrico con una presión de 600 bar, con tiempos de inyección de 0.5, 1, 2 ms

Presión (bar)	Número de inyecciones	Tiempo de inyección (ms)	Caudal de inyección (mm ³)	Caudal de retorno (mm ³)	Corriente de activación (A)	Voltaje de activación (V)
600	300	0,5	8,1	0	18,3	157
600	300	1	11,4	1,4	18,2	156
600	300	2	31,8	4	18,0	157
600	600	0,5	15,2	2,6	18,1	157
600	600	1	30,2	5,7	18,4	158
600	600	2	56,2	8,3	18,2	158
600	850	0,5	29,2	5,1	18,2	157
600	850	1	44,3	5,1	18,2	157
600	850	2	94	13,8	18,3	157

En la tabla número 12 se muestra que los datos variables son únicamente la presión de prueba, el número de inyecciones y el tiempo de inyección, mostrando que va aumentando el número de inyecciones y el tiempo de inyección. A su vez, el caudal de inyección y de retorno van incrementando proporcionalmente.

Por otra parte, la corriente de activación del inyector va desde un rango de 18 A con una ligera variación hasta los 18,4 A, obteniendo así un consumo promedio de 18,21 A en una presión constante de 600 bares.

3.4 Análisis de las Pruebas del Inyector Número 2

3.4.1 Análisis de Pruebas del Inyector Número 2 a la Presión de 300 Bar

Tabla 13 Prueba del inyector Bosch piezo eléctrico con una presión de 300 bar, con tiempos de inyección de 0.5, 1, 2 ms

Presión (bar)	Número de inyecciones	Tiempo de inyección (ms)	Caudal de inyección (mm ³)	Caudal de retorno (mm ³)	Corriente de activación (A)	Voltaje de activación (V)
300	300	0,5	2,1	0	18,2	156
300	300	1	2,5	0,7	18,3	157
300	300	2	2,1	1,8	18,1	156
300	600	0,5	2,3	1,6	18,2	157
300	600	1	2,2	1,5	18,3	156
300	600	2	2,1	6,5	18,3	156
300	850	0,5	2,9	4,9	18,1	157
300	850	1	2,8	6,3	18,1	156
300	850	2	3,6	12,1	18,2	156

En la tabla número 13 se muestra que los datos variables son únicamente la presión de prueba, el número de inyecciones y el tiempo de inyección, mostrando que va aumentando el número de inyecciones y el tiempo de inyección, a su vez, el caudal de inyección y de retorno van incrementando proporcionalmente.

Por otra parte, la corriente de activación del inyector va desde un rango de 18,1 A con una ligera variación hasta los 18,3 A, obteniendo así un consumo promedio de 18,2 A en una presión constante de 300 bares.

3.4.2 Análisis de Pruebas del Inyector Número 2 a la Presión de 500 Bar

Tabla 14 Prueba del inyector Bosch piezo eléctrico con una presión de 500 bar, con tiempos de inyección de 0.5, 1, 2 ms

Presión (bar)	Número de inyecciones	Tiempo de inyección (ms)	Caudal de inyección (mm3)	Caudal de retorno (mm3)	Corriente de activación (A)	Voltaje de activación (V)
500	300	0,5	6,9	0	18,1	156
500	300	1	14,3	1,5	18,2	157
500	300	2	25,5	3,9	18,2	158
500	600	0,5	12,6	4	18,3	158
500	600	1	23,2	4,6	18,1	156
500	600	2	41,5	7,7	18,0	156
500	850	0,5	21,5	5,9	18,1	158
500	850	1	37,3	5,5	18,1	157
500	850	2	71,3	10,5	18,3	157

En la tabla número 14 se muestra que los datos variables son únicamente la presión de prueba, el número de inyecciones y el tiempo de inyección, mostrando que va aumentando el número de inyecciones y el tiempo de inyección, a su vez, el caudal de inyección y de retorno van incrementando proporcionalmente.

Por otra parte, la corriente de activación del inyector va desde un rango de 18 A con una ligera variación hasta los 18,3 A, obteniendo así un consumo promedio de 18,15 A en una presión constante de 500 bares.

3.4.3 Análisis de Pruebas del Inyector Número 2 a la Presión de 600 Bar

Tabla 15 Prueba del inyector Bosch piezo eléctrico con una presión de 600 bar, con tiempos de inyección de 0.5, 1, 2 ms

Presión (bar)	Número de inyecciones	Tiempo de inyección (ms)	Caudal de inyección (mm3)	Caudal de retorno (mm3)	Corriente de activación (A)	Voltaje de activación (V)
600	300	0,5	9,8	0	18,1	157
600	300	1	13,5	1,5	18,1	157
600	300	2	32,3	4,8	18,2	156
600	600	0,5	15,6	2,5	18,2	158
600	600	1	33,3	5,7	18,2	157
600	600	2	62,2	9,6	18,1	156
600	850	0,5	23,8	5,6	18,1	158
600	850	1	45,6	6,1	18,2	157
600	850	2	95,2	13,9	18,3	156

En la tabla número 15 se muestra que los datos variables son únicamente la presión de prueba, el número de inyecciones y el tiempo de inyección, mostrando que va aumentando el número de inyecciones y el tiempo de inyección, a su vez, el caudal de inyección y de retorno van incrementando proporcionalmente.

Por otra parte, la corriente de activación del inyector va desde un rango de 18,1 A con una ligera variación hasta los 18,3 A, obteniendo así un consumo promedio de 18,16 A en una presión constante de 600 bares.

3.5 Análisis de Pruebas del Inyector Número 3

3.5.1 Análisis de Pruebas del Inyector Número 3 a la Presión de 300 Bar

Tabla 16 Prueba del inyector Bosch piezo eléctrico con una presión de 300 bar, con tiempos de inyección de 0.5, 1, 2 ms

Presión (bar)	Número de inyecciones	Tiempo de inyección (ms)	Caudal de inyección (mm ³)	Caudal de retorno (mm ³)	Corriente de activación (A)	Voltaje de activación (V)
300	300	0,5	2,2	0	18,1	156
300	300	1	2,6	0,2	18,2	158
300	300	2	2,5	1,7	18,1	158
300	600	0,5	2,3	1,4	18,1	157
300	600	1	2,5	1,4	18,3	157
300	600	2	2,4	6,5	18,2	156
300	850	0,5	2,3	4,7	18,1	158
300	850	1	2,2	6,8	18,1	158
300	850	2	2,9	11,9	18,2	158

En la tabla número 16 se muestra que los datos variables son únicamente la presión de prueba, el número de inyecciones y el tiempo de inyección, mostrando que va aumentando el número de inyecciones y el tiempo de inyección, a su vez, el caudal de inyección y de retorno van incrementando proporcionalmente.

Por otra parte, la corriente de activación del inyector va desde un rango de 18,1 con una ligera variación hasta los 18,3 A, obteniendo así un consumo promedio de 18,15 en una presión constante de 300 bares.

3.5.2 Análisis de Pruebas del Inyector Número 3 a la Presión de 500 Bar

Tabla 17 Prueba del inyector Bosch piezo eléctrico con una presión de 500 bar, con tiempos de inyección de 0.5, 1, 2 ms

Presión (bar)	Número de inyecciones	Tiempo de inyección (ms)	Caudal de inyección (mm ³)	Caudal de retorno (mm ³)	Corriente de activación (A)	Voltaje de activación (V)
500	300	0,5	8	0	18,1	158
500	300	1	14,6	1,8	18,2	158
500	300	2	22,7	4,2	18,1	156
500	600	0,5	12,2	4,3	18,3	156
500	600	1	30,3	4,8	18,3	157
500	600	2	48,5	7,8	18,2	157
500	850	0,5	20,2	6,4	18,3	157
500	850	1	42,4	5,6	18,1	158
500	850	2	71,3	10,9	18,2	157

En la tabla número 17 se muestra que los datos variables son únicamente la presión de prueba, el número de inyecciones y el tiempo de inyección, mostrando que va aumentando el número de inyecciones y el tiempo de inyección, a su vez, el caudal de inyección y de retorno van incrementando proporcionalmente.

Por otra parte, la corriente de activación del inyector va desde un rango de 18,1 A con una ligera variación hasta los 18,3 A, obteniendo así un consumo promedio de 18,2 en una presión constante de 500 bares.

3.5.3 Análisis de Pruebas del Inyector Número 3 a la Presión de 600 Bar

Tabla 18 Prueba del inyector Bosch piezo eléctrico con una presión de 600 bar, con tiempos de inyección de 0.5, 1, 2 ms

Presión (bar)	Número de inyecciones	Tiempo de inyección (ms)	Caudal de inyección (mm3)	Caudal de retorno (mm3)	Corriente de activación (A)	Voltaje de activación (V)
600	300	0,5	9,2	0	18,2	157
600	300	1	12,2	1,3	18,2	157
600	300	2	29,3	4,5	18,1	156
600	600	0,5	15,2	3,3	18,1	158
600	600	1	31,3	5,6	18,1	156
600	600	2	62,5	8,9	18,4	156
600	850	0,5	26,8	5,7	18,2	156
600	850	1	42,4	5,3	18,1	158
600	850	2	88,5	15,3	18,1	156

En la tabla número 18 se muestra que los datos variables son únicamente la presión de prueba, el número de inyecciones y el tiempo de inyección, mostrando que va aumentando el número de inyecciones y el tiempo de inyección, a su vez, el caudal de inyección y de retorno van incrementando proporcionalmente.

Por otra parte, la corriente de activación del inyector va desde un rango de 18,1 A con una ligera variación hasta los 18,4 A, obteniendo así un consumo promedio de 18,16 en una presión constante de 600 bares.

3.6 Análisis de Pruebas del Inyector Número 4

3.6.1 Análisis de Pruebas del Inyector Número 4 a la Presión de 300 Bar

Tabla 19 Prueba del inyector Bosch piezo eléctrico con una presión de 300 bar, con tiempos de inyección de 0.5, 1, 2 ms

Presión (bar)	Número de inyecciones	Tiempo de inyección (ms)	Caudal de inyección (mm ³)	Caudal de retorno (mm ³)	Corriente de activación (A)	Voltaje de activación (V)
300	300	0,5	2,3	0	18,3	158
300	300	1	2,6	0,9	18,1	158
300	300	2	2,5	1,1	18,0	158
300	600	0,5	2,2	1,4	18,1	158
300	600	1	2,6	1,8	18,2	156
300	600	2	2,4	6,2	18,2	156
300	850	0,5	2,6	4,5	18,2	156
300	850	1	2,3	6,7	18,1	158
300	850	2	2,3	9,6	18,1	158

En la tabla número 19 se muestra que los datos variables son únicamente la presión de prueba, el número de inyecciones y el tiempo de inyección, mostrando que va aumentando el número de inyecciones y el tiempo de inyección, a su vez, el caudal de inyección y de retorno van incrementando proporcionalmente.

Por otra parte, la corriente de activación del inyector va desde un rango de 18 A con una ligera variación hasta los 18,3 A, obteniendo así un consumo promedio de 18,14 A en una presión constante de 300 bares.

3.6.2 Análisis de Pruebas del Inyector Número 4 a la Presión de 500 Bar

Tabla 20 Prueba del inyector Bosch piezo eléctrico con una presión de 500 bar, con tiempos de inyección de 0.5, 1, 2 ms

Presión (bar)	Número de inyecciones	Tiempo de inyección (ms)	Caudal de inyección (mm3)	Caudal de retorno (mm3)	Corriente de activación (A)	Voltaje de activación (V)
500	300	0,5	7,1	0	18,2	156
500	300	1	14,9	1,5	18,1	156
500	300	2	26,7	3,9	18,1	157
500	600	0,5	14,6	3,2	18,2	156
500	600	1	27,8	4,5	18,1	158
500	600	2	53,6	7,9	18,1	156
500	850	0,5	22,2	6,7	18,3	156
500	850	1	40	6,3	18,2	156
500	850	2	67,6	12,4	18,3	156

En la tabla número 20 se muestra que los datos variables son únicamente la presión de prueba, el número de inyecciones y el tiempo de inyección, mostrando que va aumentando el número de inyecciones y el tiempo de inyección, a su vez, el caudal de inyección y de retorno van incrementando proporcionalmente.

Por otra parte, la corriente de activación del inyector va desde un rango de 18,1 A con una ligera variación hasta los 18,3 A, obteniendo así un consumo promedio de 18,17 en una presión constante de 500 bares.

3.6.3 Análisis de Pruebas del Inyector Número 4 a la Presión de 600 Bar

Tabla 21 Prueba del inyector Bosch piezo eléctrico con una presión de 600 bar, con tiempos de inyección de 0.5, 1, 2 ms

Presión (bar)	Número de inyecciones	Tiempo de inyección (ms)	Caudal de inyección (mm ³)	Caudal de retorno (mm ³)	Corriente de activación (A)	Voltaje de activación (V)
600	300	0,5	7,8	0	18,3	157
600	300	1	12,1	1,4	18,1	157
600	300	2	33,1	4,8	18,3	156
600	600	0,5	15,8	2,6	18,1	157
600	600	1	29,7	7,2	18,2	158
600	600	2	61,2	9,7	18,1	158
600	850	0,5	22,6	6,6	18,2	157
600	850	1	38,4	6,2	18,4	158
600	850	2	92,3	14,5	18,4	156

En la tabla número 21 se muestra que los datos variables son únicamente la presión de prueba, el número de inyecciones y el tiempo de inyección, mostrando que va aumentando el número de inyecciones y el tiempo de inyección, a su vez, el caudal de inyección y de retorno van incrementando proporcionalmente.

Por otra parte, la corriente de activación del inyector va desde un rango de 18,1 A con una ligera variación hasta los 18,4 A, obteniendo así un consumo promedio de 18,23 en una presión constante de 600 bares.

3.7 Análisis y Comparación del Sensor ZME (Componente de Fabrica) vs Repuesto Nuevo Mediante Pruebas de Osciloscopio

Mediante esta prueba podemos observar el tiempo de activación de la bomba de combustible y el amperaje necesario para la activación del mismo, se puede dar por conclusión que no existe mayor variación del componente debido a que este es un actuador y los tiempos mostrados en las pruebas son casi imperceptibles.

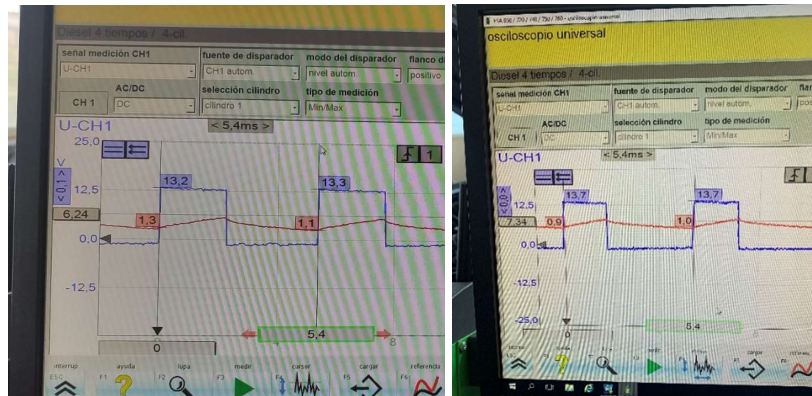


Figura 31.3 Datos de la válvula ZME componente usado vs repuesto nuevo

3.8 Análisis y Comparación de Valores de Inyectores Usados del Vehículo Volkswagen Amarok vs Inyectores Nuevos

Luego de realizar las distintas pruebas con ayuda del equipo de medición FSA 740 a 2000 RPM y 2500 RPM se obtuvo resultados que nos permiten observar el cambio de valores con el uso de los inyectores piezoeléctricos deteriorados y los nuevos, al desmontar los inyectores que se encontraban en uso se observó que estos presentaban marcas de quemaduras y daños en el cuerpo de cada uno, las pruebas que se realizaron nos sirvieron para eliminar dudas sobre las mejoras o inconvenientes que se obtuvieron al intercambiar los inyectores viejos por los nuevos.

Al momento de realizar las distintas pruebas a 2000 RPM y 2500 RPM se obtuvo un diagnóstico previo del estado de los inyectores, lo que nos indicó que los valores que se obtuvieron son moderados, esto nos permitió diagnosticar que todavía tienen tiempo de uso y aunque no fueron grandes las diferencias respecto a los inyectores nuevos se pudo verificar que el sistema trabaja mejor y brinda valores óptimos con los nuevos.

El funcionamiento de los inyectores piezoeléctricos es complejo y delicado por esta razón es técnicamente imposible repararlos, debido a que al desarmar el inyector se puede

perder las propiedades del material piezoeléctrico, la calibración de los ajustes y los valores originales de trabajo, cuando se realizó las distintas pruebas se pudo estimar que los valores que entrega el equipo son semejantes y no presentan grandes cambios, sin embargo este tipo de inyectores funcionan de una forma muy precisa por lo que en caso de que los datos cambien es preferible reemplazar el juego de inyectores para mayor seguridad y un funcionamiento optimo.

Tabla 22 Resultados del rendimiento del vehículo

Prueba con valores reales del vehículo a 2000 rpm			
N°	Descripción	Componente usado	Componente nuevo
1	Cantidad permitida de inyecciones	3	3
2	Par de giro motor	45,2 Nm	36,5 Nm
3	Valor de carga calculado	25,1%	21,2 %
4	Limitación par motor (limitación final)	179,2 Nm	172,2 Nm
5	Limitación par motor (plena carga)	45,4 Nm	36,4 Nm
6	Limitación par motor (limitación gases)	178,7 Nm	171,3 Nm
7	Par de arrastre motor	41,9 Nm	36,5 Nm
8	Consumo de combustible	1,96 l/h	1,69 l/h
9	Cantidad a inyectar al arrancar	14,80 mg	18,98 mg
10	Cantidad de rectificación para cilindro 1	0,24 mg	0,17 mg
11	Cantidad de rectificación para cilindro 2	0,34 mg	-0,08 mg
12	Cantidad de rectificación para cilindro 3	0,34 mg	-0,68 mg
13	Cantidad de rectificación para cilindro 4	-0,22	0,62 mg
14	Arranque de la inyección previa 1	14,11°	14,35°
15	Arranque de la inyección previa 2	29,60°	30,19°
16	Duración control inyección previa 1	233,2 μ s	218,8 μ s

17	Duración control inyección previa 2	209,6 μ s	202,4 μ s
18	Sistema de alta presión combustible: Presión	529,5 bar	508,9 bar
19	Sensor de presión de combustible: Tensión	1,551 V	1,524 V

Al finalizar las pruebas y comparar los datos se encontró como más relevantes el par de giro motor que aumentó un 20,09 %, esto nos demuestra mejor funcionalidad, mayor potencia y eficiencia al arrancar debido al mejor control del mecanismo en los inyectores nuevos, el valor de carga calculado aumentó un 6,7 % ayudando a mejorar el par de giro, logrando vencer con mayor eficacia las fuerzas que se oponen al movimiento del motor ya que los inyectores nuevos constan de una mejor estanquidad, el limitador de par motor se redujo un 8,61 % debido a que los inyectores en buen estado envían una señal más concisa, por lo contrario el par de arrastre aumenta en 12,89 % esto se traduce como mejor eficiencia, la cantidad de inyección al arrancar aumenta, el sistema de alta presión aumenta en 8,37 % debido a la eficiencia de trabajo que presentan los inyectores nuevos.

Tabla 23 Resultados del rendimiento del vehículo

Prueba con valores reales del vehículo a 2500 rpm			
Nº	Descripción	Componente usado	Componente nuevo
1	Cantidad permitida de inyecciones	3	3
2	Par de giro motor	42,8 Nm	51,4 Nm
3	Valor de carga calculado	19,6 %	26,3%
4	Limitación par motor (limitación final)	200,2 Nm	201,0 Nm
5	Limitación par motor (plena carga)	58,1 Nm	53,1 Nm
6	Limitación par motor (limitación gases)	200,6 N	205,2 Nm
7	Par de arrastre motor	39,7 Nm	43,4 Nm
8	Consumo de combustible	2,94 l/h	2,67 l/h
9	Cantidad a inyectar al arrancar	14,80 mg	18,98 mg

10	Cantidad de rectificación para cilindro 1	-0,11 mg	0,07 mg
11	Cantidad de rectificación para cilindro 2	0,93 mg	-0,02 mg
12	Cantidad de rectificación para cilindro 3	-0,64 mg	-0,53 mg
13	Cantidad de rectificación para cilindro 4	-0,18 mg	0,48 mg
14	Arranque de la inyección previa 1	17,64°	18,41°
15	Arranque de la inyección previa 2	35,75°	35.90°
16	Duración control inyección previa 1	200,8 μ s	206,0 μ s
17	Duración control inyección previa 2	190,8 μ s	197,2 μ s
18	Sistema de alta presión combustible: Presión	556,7 bar	603,3 bar
19	Sensor de presión de combustible: Tensión	1.680 V	1.704 V

3.9 Análisis y Comparación de las Pruebas de Presión de Retorno de los Inyectores Piezo Eléctricos

Analizando las pruebas indistintamente del inyector empleado (componentes usados) se puede apreciar mediante el uso del manómetro que existe variaciones en la medida mostrada en cada uno de ellos, estas variaciones afectan al rendimiento final del vehículo como: pérdidas de potencia, mayor presencia de humo, problemas al arrancar, entre otros.



Figura 32.3 Prueba de presión de retorno (componentes usados)

Con la instalación de los componentes nuevos y realizando las mismas pruebas se puede apreciar que el valor mostrado de 5 bares no presenta fluctuaciones, es decir, el componente tiene un funcionamiento más estable y por lo tanto no ocurren fallos en el rendimiento del motor.

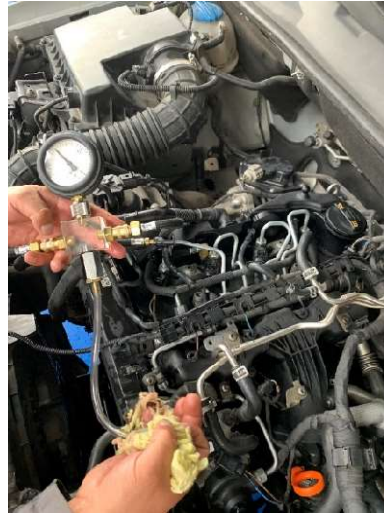


Figura 33.3 Prueba de presión de retorno (componentes nuevos)

CAPÍTULO IV

4. Conclusiones y Recomendaciones

4.1 Conclusiones

- Mediante el uso del equipo FSA 740 se puede concluir que el rendimiento del vehículo mejora debido al reemplazo de los componentes, por ejemplo, el par de giro motor aumentó en un 20%, y consumo de combustible se redujo en un 9,18%, mostrando una mayor potencia, funcionalidad y mejoras al arrancar.
- Al realizar las pruebas del caudal de inyección y de retorno se identificó que el inyector número cuatro presenta mayores inconvenientes al suministrar el suficiente combustible requerido para su correcto funcionamiento, mientras que, la cantidad de combustible de retorno es mayor al valor nominal.
- Con respecto al sensor ZME se pudo concluir que al reemplazar el componente usado se obtiene un valor de amperaje y tiempo de inyección óptimo conllevando a buenos resultados en el rendimiento del vehículo.
- Al realizar las pruebas de presión en las líneas de retorno de los inyectores piezo eléctricos reemplazados, se observó que, no existen oscilaciones en el manómetro, mostrando un valor más estable disminuyendo así los fallos en el rendimiento del motor.

4.2 Recomendaciones

- Se recomienda reemplazar el juego de inyectores debido a que si uno se encuentra en mal estado este afectaría directamente al resto de inyectores por lo que trabajan conjuntamente.
- Se recomienda dar un buen trato en el manejo de los instrumentos de medición y equipos de pruebas, debido a que son los mismos los que nos ayudan a sacar datos lo mayormente fiables para el desarrollo de los trabajos de investigación.
- Al realizar el montaje de cualquier componente se debe de verificar que la rosca o racores giren correctamente sin ningún tipo de endurecimiento en el proceso, porque de lo contrario la rosca se puede barrer y originar pérdidas de presión.
- Para la extracción de los componentes se lo debe de realizar con la herramienta más indicada para no causar daños en el mismo componente o al personal que este realizando el mantenimiento.
- Para la elaboración de trabajos de investigación, realizar reparaciones o reemplazos de los componentes referentes a inyectores piezo eléctricos se recomienda investigar previamente en manuales o consultar a técnicos ya con conocimientos debido a que son un tanto complejos y no existe mucha información.

BIBLIOGRAFÍA

- Alonso Perez José Manuel. (2009). *Técnicas del Automóvil - MOTORES*. Madrid: Paraninfo.
- Archilla Felipe. (2016). Como funciona un inyector piezoeléctrico. 1-5.
- Augeri, F. (20 de Abril de 2011). *CISE electrónica*. Obtenido de CISE.com:
<http://www.cise.com/portal/notas-tecnicas/item/356-sistemas-common-rail-presi%C3%B3n-en-el-rail.html>
- Augeri, Fernando. (2017). Funcionamiento de Inyectores Piezoeléctricos. 1-2.
- Benavides Ballesteros, H. O., & León Aristizabal, G. E. (2007). *INFORMACIÓN TÉCNICA SOBRE*. Colombia.
- Cisneros Rodríguez, I. (s.f.). Los sensores automotrices en la práctica. *Tu Taller Mecánico*, 49.
- Concepción Mandy. (2004). *Sensores Automotrices y Análisis de Ondas de Osciloscopio*. USA.
- Consuegra Pacheco, S. (2007). *MÓDULO MOTORES DIESEL*. Colombia.
- David Plaza. (03 de enero de 2020). *Motor.es*. Obtenido de <https://www.motor.es/noticias/fallo-inyectores-diesel-posibles-soluciones-201963647.html>
- Fran García. (22 de marzo de 2018). *Blogs mecánicos*. Obtenido de http://www.blogmecanicos.com/2018/03/causas-del-fallo-de-los-inyectores_22.html
- Instituto de servicio. (2006). *Inyector bomba piezoeléctrico*. BARCELONA: GRÁFICAS SYL.
- Jinu, M., Josny, J., & Soney, G. (2019). Potential applications of nanotechnology in transportation: A review. *Journal of King Saud University- Science*, 586-594.

Krishan, B. R. (16 de Marzo de 2021). *Banco Interamericano de Desarrollo ("BID")*.

Obtenido de <https://blogs.iadb.org/transporte/es/el-transporte-no-sostenible-tiene-consecuencias-estas-son-las-estrategias-para-reducir-la-contaminacion-ambiental/>

Medina, A. S. (Noviembre de 2018). *Sensores Automotrices*. Obtenido de

https://www.researchgate.net/publication/328808726_Sensores_Automotrices

Navas Cubas, O. (2018). *Manual de inyectores Diesel*.

Orozco, José Luis. (21 de Enero de 2021). *INGENIERIA Y MECANICA AUTOMOTRIZ*.

Obtenido de <https://www.ingenieriaymecanicaautomotriz.com/1959-2/>

ROBERT BOSCH. (2005). *Sistemas de inyección diesel por acumulador*. Barcelona-España:

Reverté S.A.

Robert Bosch. (s.f.). *Sistemas de inyección Diesel*. Brasil: RBLA/SLA.

Sistemas Diesel. (2014). *Técnica general y funcionamiento de los sistemas common rail*.