



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

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

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

TEMA: IMPLEMENTACIÓN DE UNA GUÍA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE BOMBAS DE ALTA PRESIÓN CP4

AUTORES:

Benavides Vásquez Jonny Javier

Chacón Fuertes Fredy Santiago

DIRECTOR:

Ing. Erik Paúl Hernández Rueda, MSc

IBARRA, 2023

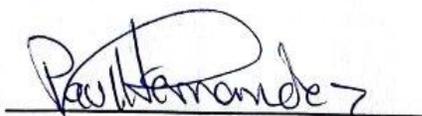
ACEPTACIÓN DEL DIRECTOR

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 **"IMPLEMENTACIÓN DE UNA GUÍA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE BOMBAS DE ALTA PRESIÓN CP4"** presentado por los señores: Benavides Vásquez Jonny Javier con número de cédula 100403087-8 Chacón Fuertes Fredy Santiago con número de cédula 0401726468, respectivamente, MSc. Paúl Hernández 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 31 días del mes julio del 2023.



MSc. Paúl Hernández
c.c.: 1002978060
DIRECTOR



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:	040172646-8		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Chacón Fuertes Fredy Santiago		
DIRECCIÓN:	Carchi - San Pedro De Huaca		
EMAIL:	fschaconf@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:		TELÉFONO MÓVIL:	0968968717

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	100403087-8		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Benavides Vásquez Jonny Javier		
DIRECCIÓN:	Panamericana Sur y Jaime Roldós – Natabuela		
EMAIL:	jjbenavidesv@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:		TELÉFONO MÓVIL:	0963348731

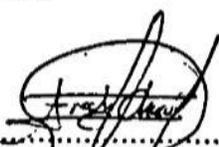
DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	IMPLEMENTACIÓN DE UNA GUIA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE BOMBAS DE ALTA PRESIÓN CP4
AUTOR (ES):	Chacón Fuertes Fredy Santiago, Benavides Vásquez Jonny Javier
FECHA: DD/MM/AAAA	30/07/23
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TITULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniería en Mantenimiento Automotriz
ASESOR /DIRECTOR:	Ing. Carlos Mafla Msc. - Ing. Paúl Hernández Msc

CONSTANCIAS

El autor (es) manifiesta (n) que la obra de objeto de la presente autorización es original y se la desarrollo, 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 ..Fredy..Chauón

Firma 

Nombre ..Jonny..Benavides

DEDICATORIA

El presente trabajo se lo dedico a mi Dios y mi Purita, quienes supieron darme fuerzas para seguir adelante y no desmayar en los problemas que se presentaban, enseñándome a encarar las adversidades sin perder nunca la dignidad ni desfallecer en el intento. Dedico con todo mi corazón mi tesis a mi padre y a mi madre, pues sin su apoyo y consejos no lo hubiese logrado. Su bendición a diario a lo largo de mi vida me protege y me lleva por el camino del bien. Por eso les ofrezco mi trabajo en ofrenda por su sacrificio y paciencia. Quiero dedicar también este trabajo a mi esposa Yesenia y a mi hija Amelia ya que su presencia en mi vida ha sido fundamental para poder lograr cada uno de mis objetivos, su paciencia y amor me han convertido en una persona que lucha y cumple sus sueños.

Fredy Chacón

El presente trabajo de grado, así como el logro de obtener mi título de tercer nivel, se lo dedico a mis padres y hermanos, así como a los familiares y amigos que siempre creyeron en mí, a la memoria de mi Abuelita María quien sé que estaría orgullosa de ver mi formación académica, así como moral, y por último, pero no menos importante a mí, he trabajado duro para cumplir esta meta.

Jonny Benavides

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la Universidad Técnica del Norte por haberme aceptado ser parte de ella y abierto las puertas para poder estudiar mi carrera, así como también a los docentes de los diferentes niveles que brindaron sus conocimientos y su apoyo.

Agradezco también a mi asesor de proyecto de titulación el Ing. Erik Hernández MSc por haberme brindado la oportunidad de recurrir a su capacidad y conocimiento científico, también por haberme tenido toda la paciencia del mundo para guiarme en el desarrollo del proyecto. Para finalizar agradezco a mis compañeros de clase ya que gracias al compañerismo y amistad han aportado en alto porcentaje a mis ganas de seguir adelante en mi carrera profesional.

Fredy Chacón

Me permito extender un agradecimiento a todos quienes conforman mi prestigiosa y querida Universidad Técnica del Norte, a quienes fueron mis docentes y amigos los cuales supieron con esfuerzo transmitir sus conocimientos, para aportar a mi formación académica, a nuestro director y asesor de tesis quienes con paciencia y voluntad supieron guiarnos en el desarrollo de este trabajo de grado. Quiero también agradecer todas y cada una de las personas quienes aportaron a lo largo de mi carrera.

Jonny Benavides

RESUMEN

La implementación de una guía para mantenimiento preventivo en bombas CP4 se crea debido a que los vehículos a diésel abarcan cada vez más el mercado automotor ya sea en carga liviana, carga pesada, transporte de pasajeros y automóviles, debido a esto es necesario la implementación de una guía que ayude a prevenir posteriores daños en dicha pieza de los motores diésel ya que su reemplazo o reparación tiene costos muy elevados para lo cual se hace la verificación con la camioneta Amarok año 2012 propiedad de la Universidad Técnica del Norte y se realiza las debidas pruebas de funcionamiento como son medidas de presión de entrega de combustible, Consumo de combustible, apertura de la válvula de presión entre otras pruebas para poder determinar en qué estado se encuentra la bomba cp4 montada en la camioneta Amarok y posteriormente a esto se realiza el cambio de la bomba por una nueva en las mismas características que la actual para lo cual los resultados arrojan valores diferentes en comparación con la bomba actual y la bomba nueva siendo así que la bomba actual aún se encuentra en buenas condiciones pero ya tiene variaciones en el consumo de combustible y en la entrega de presión a los inyectores, para poder realizar la comparación es necesario reemplazarla por la bomba cp4 nueva y así poder determinar la guía de mantenimiento preventivo.

ABSTRACT

The implementation of a guide for preventive maintenance in CP4 pumps is created due to the fact that diesel vehicles increasingly cover the automotive market, be it light load, heavy load, passenger transport and cars, due to this it is necessary to implement a guide that helps prevent further damage in that specific part of diesel engines since its replacement or repair has very high costs, for which the verification is made with the Amarok truck year 2012 owned by the Técnica del Norte University and the due functional tests such as fuel delivery pressure measurements, fuel consumption, opening of the pressure valve among other tests to determine the state of the cp4 pump mounted on the Amarok truck and after this the change is made of the pump for a new one with the same characteristics as the current one. So that the results show different values in comparison with the current pump and the new pump, being that the current pump is still in good condition but already has variations in consumption of fuel and in the delivery of pressure to the injectors, in order to make the comparison it is necessary to replace it with the new cp4 pump and thus be able to determine the preventive maintenance guide.

INDICE

CERTIFICADO	II
CONSTANCIAS	IV
DEDICATORIA.....	V
AGRADECIMIENTOS	VI
RESUMEN	VII
ABSTRACT	VIII
INDICE.....	IX
ÍNDICE DE FIGURAS	XII
CAPITULO I	1
Revisión bibliográfica	1
1.1. ANTECEDENTES	1
1.2. Planteamiento del problema.....	2
1.3. Alcance.....	3
1.3.1. Delimitación espacial.....	4
1.4. Objetivos.....	4
1.4.1. General.....	4
1.4.2. Específicos.....	4
Marco teórico	4
1.5. Sistema de inyección Common Rail CRDi.....	4
1.6. Componentes del sistema Common Rail CRDi.....	5

	X
1.6.1. Circuito de baja presión	6
1.6.2. Circuito de alta presión	7
1.6.3. Actuadores	9
1.6.4. Sensores.....	9
1.7. Evolución sistemas CRDi	10
1.8. Bomba de alta presión CP4.....	11
1.8.1. Funcionamiento de la bomba de alta presión CP4.....	11
1.9. Mantenimiento preventivo en motores de diésel	17
1.9.1. Mantenimiento preventivo automotriz	17
1.9.2. Acciones para aplicar dentro del mantenimiento preventivo.....	18
1.10. Mantenimiento preventivo en bomba de alta presión CP4	21
CAPÍTULO II	23
Materiales y métodos	23
2.1. Equipos y herramientas	23
2.1.1. Banco de prueba de codificación de inyector piezoeléctrico.....	23
2.1.2. Banco de pruebas de bomba CRDI	24
2.1.3. Herramienta menor.....	26
2.2. Montaje y desmontaje de la bomba de alta presión CP4.....	27
2.2.1. Desmontaje de bomba de alta presión	27
2.2.2. Montaje de bomba de alta presión	30
2.3. Descripción estado actual bomba de alta presión	32
2.4. Análisis de datos bomba CP4 actual instalada	33

	XI
2.4.1. Valores nominales de ralentí.....	33
2.4.2. Análisis de datos de presión.....	34
2.4.3. Análisis de datos de temperatura	34
2.4.4. Análisis de datos del control de unidad (señal PWM).....	34
2.5. Análisis de datos del repuesto de la bomba CP4	35
2.5.1. Valores Reales	35
2.5.2. Análisis de datos de presión.....	36
2.5.3. Análisis de datos de temperatura	36
2.5.4. Análisis de datos del control de unidad (señal PWM).....	36
2.6. Comparación de valores reales del sistema	37
CAPÍTULO III	38
Resultados	38
3.1. Análisis comparativo de componentes defectuoso y nuevo.....	38
3.2. Evaluación del estado de las piezas.....	39
3.3. Guía de mantenimiento preventivo	41
GUÍA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO BOMBA CP4	41
CAPÍTULO IV.....	50
CONCLUSIONES	50
RECOMENDACIONES	51
Bibliografía	52

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Sistema de inyección Common Rail CRDi	5
Figura 2.1 Circuito baja y alta presión	6
Figura 3.1 Partes de la bomba de alta presión CP4	11
Figura 4.1 Partes de la bomba de alta presión vista 3D Fuente: Botwinska K (2022)	12
Figura 5.1 Excéntrica en el eje de accionamiento Fuente: (Botwinska K, 2022)	13
Figura 6.1 Leva excéntrica	13
Figura 7.1 Movimiento ascendente y descendente del émbolo Fuente: (Tjahjono, 2019) ..	14
Figura 8.1 Cámara de compresión.....	15
Figura 9.1 Proceso de la válvula de aspiración.....	15
Figura 10.1 Válvula de dosificación de combustible N290	16
Figura 11.1 Válvula reguladora de presión	17
Figura 12.1: Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN	19
Figura 13.2 Banco de Pruebas de Inyectores	24
Figura 14.2 Banco de Pruebas Bomba CDRi	25
Figura 15.2 Componentes motor	28
Figura 16.2 Piezas desmontaje bomba de alta presión CP4.....	30
Figura 17.2 Bomba CP4 con montaje en vehículo	32
Figura 18.2 Valores nominales de ralentí	33
Figura 19.2 Datos de presión a 1577 rpm.....	34
Figura 20.2 Señal PWM válvula reguladora	35
Figura 21.2 Valores nominales de ralentí	35
Figura 22.2 Señal PWM válvula reguladora	36
Figura 23.3 Volkswagen Amarok 2012.....	39

CAPITULO I

Revisión bibliográfica

1.1. ANTECEDENTES

Los motores de combustión interna diésel han tenido una alta demanda en la industria automotriz, marítima e industrial en general, desde su invención en 1859 por el Alemán Rudolf Diésel mientras trabaja para MAN, desde entonces se han realizado una serie de mejoras para obtener motores con mejor rendimiento en par y potencia, buscando reducir el peso, mejorar el consumo y emitir menos gases contaminantes.

Debido a las condiciones del ciclo de funcionamiento de los motores Diésel, y a las propiedades químicas propias del carburante empleado, el gasóleo el cual de cierta forma es más sucio en relación a otros carburantes, producto de la combustión se generan ciertos residuos como partículas de hidrocarburos y de óxido de nitrógeno principalmente además de otros. La normativa EURO de control de emisiones establecida en Europa desde el año 1988, regula la colocación de los diferentes automotores en el mercado europeo, estableciendo valores máximos de emisiones nocivas para la salud. Actualmente se maneja euro 6, sin embargo, cada país establece que tipo de normativa aplicar a los vehículos que quieren ingresar al mercado.

De manera general los sistemas de inyección electrónica diésel, trabajan con altos niveles de precisión y tolerancias muy reducidas, por lo que realizar mantenimientos preventivos se vuelve una obligación y es recomendable usar repuestos originales para evitar desgaste prematuro de los elementos. Los costos que requieren los trabajos mecánicos por mantenimientos correctivos han obligado al sector automotriz a realizar diversos estudios técnicos que ayuden a generar estrategias para mantener los elementos del sistema de inyección de combustible en óptimo funcionamiento que permitan alargar la vida útil de cada uno de los elementos.

La bomba de inyección y el inyector son una única pieza. Cada cilindro lleva una unidad, montada en la culata del motor. Al igual que las bombas de inyección individuales son accionadas

por un árbol de levas montado sobre el bloque del motor; bien directamente mediante un empujador, o indirectamente mediante balancín (ALMARZA, 2018), por ende este conjunto de elementos se ven sometidos a un constante movimiento por el cual se genera un alto grado de temperatura y que el combustible es el que actuará como refrigerante sin embargo, este al contener impurezas saturará los elementos haciendo que estos entren en desgaste acelerado provocando disminución de caudal y presión.

Las propiedades químicas del diésel, en sí el proceso de su obtención y su refinamiento en nuestro país dan paso a que éste carburante sea de mala calidad y contenga altos niveles de azufre, En distintas universidades se han planteado temas de estudio referentes a los niveles de concentración de azufre, este en proporciones fuera del límite produce desgaste en elementos del sistema de inyección, así como gases nocivos producto de la combustión. En la combustión el azufre es una de las fuentes principales de Material Particulado (MP) (Gómez & Vargas, 2017)

1.2. Planteamiento del problema.

Los elementos internos de una bomba de inyección de alta presión CP4, están configurados con una alta precisión para permitir que el sistema funcione a altas revoluciones con tolerancias entre las piezas mecánicas mínimas, para generar altos valores de presión necesarios para el funcionamiento óptimo del motor. Estos elementos al ser sometidos a grandes esfuerzos y velocidades de trabajo requieren ser lubricados y conservados bajo buenas condiciones, de esto se encarga el gasoil que, al pasar por el circuito interno de la bomba, refrigera y lubrica el sistema. Pero los problemas de desgaste excesivo radican en la mala calidad de combustible, de acuerdo a la normativa ecuatoriana NTN INEN 1489 el porcentaje de azufre aceptable es del 0.05% y el contenido de biodiesel es de 10 % (INEN, 2016), en relación a otros países de la región estos valores son demasiado altos, lo que radica en una mayor afectación a los componentes del sistema de inyección de los vehículos que usan este combustible.

Las afectaciones generadas dentro de los componentes de la bomba de inyección CP4, muchas de las veces o son difíciles de reparar, o simplemente los daños son tan grandes que la mejor es optar por cambiar todo el componente junto con los inyectores que también son afectados, esto permite reafirmar que es necesario aplazar al máximo el mantenimiento correctivo por el alto costo que este demanda, es por eso que nuestra investigación se centra en establecer períodos adecuados en los cuales realizar mantenimientos preventivos, evitando así llegar al fallo prematuro de las piezas por mala filtración y así mismo permitiendo que el motor trabaje en óptimas condiciones con bajos niveles de opacidad. Debido a estas irregularidades en el combustible es necesario contar con una guía de mantenimiento que estandarice los mantenimientos y sus tiempos. En nuestro medio los propietarios de automotores optan por utilizar elementos filtrantes genéricos ya que sus costos son más reducidos que los elementos filtrantes originales; la estructura de los filtros y pre filtros genéricos es similar a los filtros originales, con la diferencia que los filtros originales tienen un tiempo de vida útil más largo, utilizan materiales de mejor calidad, obstruyen el paso de partículas o impurezas más diminutas y reducen al máximo la presencia del agua en el sistema de alimentación e inyección diésel que lo filtros genéricos (Monge, 2019).

1.3. Alcance.

Como parte importante de la investigación se realizará la medición de los valores de funcionamiento actual de la bomba de inyección CP4 para luego ser comparados con la bomba de inyección CP4 nueva, de esta forma podremos evaluar los cambios generados en el rendimiento general del motor. Así mismo se evaluará el estado general del sistema de inyección los mismos que brindarán información necesaria para establecer rangos de tiempo de mantenimiento de los componentes como: prefiltros, filtros, sensores y actuadores.

1.3.1. Delimitación espacial.

El presente trabajo de investigación se desarrolló dentro de las instalaciones del taller de Ingeniería Automotriz de la UTN.

1.4. Objetivos.

1.4.1. General.

Implementar una guía de mantenimiento preventivo para la bomba de alta presión CP4 del sistema common rail de Bosch montado en la camioneta pick up Volkswagen Amarok 2012.

1.4.2. Específicos.

- Investigar información bibliográfica de bombas de alta presión CP4 y su mantenimiento.
- Analizar parámetros de funcionamiento de la unidad dosificadora de la bomba de presión.
- Medir presiones de alta y baja presión en la bomba CP4.
- Plantear una guía de mantenimiento preventivo en la bomba de alta presión.

Marco teórico

1.5. Sistema de inyección Common Rail CRDi

Es un sistema de inyección de combustible a presión constante, es conocido también como inyección directa por conducto común, su sistema es de tipo electrónico que se encarga de inyectar combustible a los motores a Diésel, es una tecnología de 4 o más cilindros dispuestos en línea, donde el hidrocarburo es sustraído directamente desde el depósito de combustible hasta la bomba de alta presión, posterior a ello al conducto común para llegar finalmente a los inyectores, el sistema previamente mencionado se ilustra en la figura 1 donde se observa los componentes y la forma en que están acoplados ente si,(Xu et al., 2018).

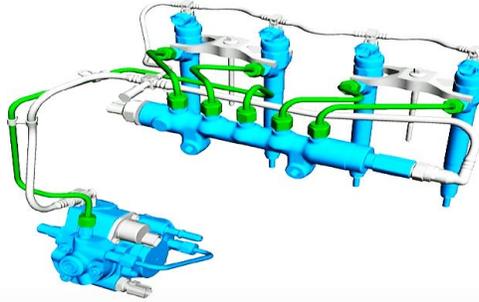


Figura 1.1 Sistema de inyección Common Rail CRDi

Fuente: (Auto AVANCE)

La presión de inyección se puede generar independientemente del número de RPM del motor y del caudal, debido a que esta tecnología va asociada a una bomba de alta presión. Además, se utiliza electrónica digital que permite enviar señales más precisas y rápidas modificando el ancho de pulso en segundos para entregar combustible con mayor exactitud, sensores que detectan las condiciones de funcionamiento del motor y un módulo (ECU), que gestiona todos los componentes (Bartsch, 2018).

1.6. Componentes del sistema Common Rail CRDi

Los vehículos modernos utilizan el sistema de alta presión con el fin de cumplir las normativas de emisiones de gases, estos al ser sometidos a carga y aceleraciones requieren de mayor cantidad de combustible por lo que existe un aumento en la cantidad de gases que emergen del proceso de combustión del hidrocarburo inyectado (Loza Carlos et al., 2022).

Dentro del sistema Common Rail trabajan dos circuitos: circuito de baja presión y circuito de alta presión, los cuales se componen de los elementos que se muestran en la figura 2.

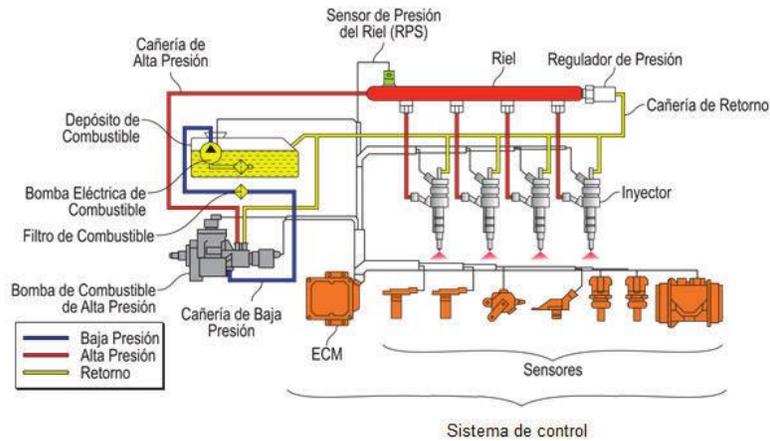


Figura 2.1 Circuito baja y alta presión

Fuente: (USFQ Alberto J, 2017)

1.6.1. Circuito de baja presión

La función de este circuito es la de llevar el combustible desde el tanque hasta la entrada a la bomba de alta presión. Las partes que conforman dicho circuito son:

1.6.1.1. Tanque de combustible

Permite almacenar el combustible, la aspiración del combustible se hace posible en cualquier condición de rodaje y gracias a sus divisiones en tabiques internos que eliminan el descebado (Lu et al., 2017).

1.6.1.2. Bomba eléctrica

Situada en el compartimiento motor entre el depósito y el filtro de carburante, permite recebar el circuito con facilidad. Puede ser utilizada después de una intervención que requiere la abertura del circuito, como el reemplazo del filtro de gasoil (Lu et al., 2017).

1.6.1.3. Filtro de combustible

Permite filtrar el carburante que llega del depósito. También puede retener impurezas de tamaño muy pequeño de hasta 5 micrones (Pires Ferreira et al., 2021).

1.6.1.4. Tuberías de combustible de baja presión

Es el medio por donde circula el combustible hasta la bomba de presión, donde es importante que el combustible llegue a ella continuamente sin burbujas. Los tubos de baja presión llevan un diámetro de 8×10 ó de 12×14 mm (Pires Ferreira et al., 2021).

1.6.2. Circuito de alta presión

1.6.2.1. Bomba Alta Presión

La bomba de alta presión tiene la función de generar presión necesaria para la pulverización del combustible. La alta presión es generada por tres émbolos que están en un ángulo de 120° entre sí, estos tres émbolos son movidos hacia arriba y hacia abajo por una leva excéntrica que se encuentra en el interior de la bomba. La bomba de alta presión tiene una brida y es accionada a través de engranajes (B Kyshchun & L Borovytskyi, 2019).

La bomba de alta presión es la encargada de generar la suficiente presión de combustible, para garantizar un pulverizado perfecto dentro del cilindro facilitando la inflamación espontánea de la mezcla. Las presiones pueden variar entre 300 y los 2500 bares, según las exigencias de carga del motor. El combustible al salir de la bomba de alta presión pasa por una serie de conductos comunes, en ese punto, los inyectores se controlan de forma eléctrica a través de centro de control (Samuel & Guevara, 2018) .

1.6.2.2. Raíl de inyectores

Es un acumulador de presión situado después de la bomba de alta presión, constituye una reserva de combustible a alta presión para los inyectores. El conjunto del raíl está constituido por el cuerpo o riel mismo, el sensor de presión del riel (piezo eléctrico), adaptadores y acoples de entrada de la bomba de alta presión (Augeri Fernando, 2017).

1.6.2.3. Válvula reguladora de presión

Esta válvula tiene la misión de ajustar y mantener la presión en el rail, dependiendo del estado de carga del motor. En caso de una presión demasiado alta en el rail, la válvula reguladora de la presión abre de forma que una parte del combustible retorna al depósito, desde el rail a través de una tubería colectora y en el caso de una presión demasiado baja la válvula reguladora de presión se cierra (Castro, 2019).

1.6.2.4. Válvula reguladora de caudal

El regulador de caudal permite modular la cantidad de carburante dirigida hacia los elementos de bombeo alta presión, esta regulación de caudal permite comprimir sólo la cantidad de carburante necesaria a la combustión en el cilindro (Castro, 2019).

1.6.2.5. Inyector

En el proceso de inyección, el combustible se encuentra en todo momento en el riel, es decir, el riel es un depósito de alta presión, donde el combustible va a estar disponible para cada uno de los inyectores, en el momento de abrir el circuito se garantiza el caudal y presión suficiente, el mismo que permite que el combustible sea atomizado en partículas muy pequeñas. Tienen orificios tan pequeños con el fin de dosificar el combustible en gotas muy pequeñas convirtiéndolo en rocío para que durante el proceso de combustión se pueda quemar la gran mayoría de combustible (Vass & Zöldy, 2019).

1.6.2.6. Circuito de retorno

El circuito de retorno de combustible permite recuperar y dirigir el diésel no utilizado por el motor al depósito. Este circuito es específico para cada sistema. El circuito de retorno cuenta con un enfriador del diésel. El refrigerador de combustible permite bajar la temperatura del mismo al regresar al depósito, está situado bajo la carrocería del vehículo, es enfriado por el flujo de aire en rodaje (Osipowicz & Abramek, 2017).

1.6.2.7. *Unidad de control*

Por sus siglas ECU (Electronic Control Unit), controla la inyección y la presión del raíl en función de las condiciones de funcionamiento del motor. La ECU asegura también el control de las funciones anexas tales como la recirculación gas de salida, el precalentamiento, el aire acondicionado (Noboa & Vargas, 2017).

1.6.3. **Actuadores**

Los actuadores funcionan y ejecutan las órdenes según los valores que envían los sensores a la ECU (Shinde et al., 2020). Los más comunes son:

- Inyectores
- Electroválvula de regulación de gases de escape EGR.
- Mariposa de parada suave
- Control de las bujías de precalentamiento
- Regulación de presión del raíl
- Regulador de caudal

1.6.4. **Sensores**

Los sensores en sistemas de inyección electrónica tanto en motores diésel como en motores de gasolina son fundamentales para un correcto funcionamiento del motor (Shinde et al., 2020). Un ejemplo es el sensor de raíl, el mismo debe medir la presión de raíl y reportar los cambios rápidamente hacia la unidad de control, consta de un sensor piezoeléctrico que se deforma con las pulsaciones de presión y envía un voltaje a la ECU.

Entre ellos tenemos:

- Sensor de posición del cigüeñal o CKP
- Sensor de fase o CMP
- Caudalímetro o MAF

- Sensor de presión de rampa
- ECT o sensor de temperatura del motor

1.7. Evolución sistemas CRDi

El sistema CRDi a través de los años ha venido contemplando mejoras de diseño en las cámaras de combustión como en los nuevos sistemas de inyección, de esta forma han permitido mejorar el rendimiento y al mismo tiempo una reducción y control de emisiones de gases contaminantes. La diferencia entre los motores a Diésel está dada por la forma en cómo se realiza la inyección de combustible. El conducto común fue diseñado por de Alfa Romero y Magnetti Marelli y posterior a ellos Bosch lo patentó, el mismo decidió incluirlo en el sistema de inyección, cambiando su nombre por acumulador de combustible (Santamaría & Javier, 2019).

El sistema common rail tuvo su origen en la década de los años 80 y principios de los 90, el año 1986 fue creado y desarrollado en países europeos, como Alemania e Italia, principalmente por las Multinacionales Fiat y Bosch. La evolución y mejoras implementadas en el sistema common rail tiene un principal objetivo que es la reducción de emisiones contaminantes, aumento de potencia en los motores y disminución de los niveles de consumo de combustible por kilómetro recorrido. Una de las principales ventajas del sistema es la posibilidad de variar la configuración de la presión de inyección y los momentos de inyección (Garrido et al., 2018).

Los vehículos con motores diésel más antiguos se construyeron con la bomba Bosch CP3, que funcionaba sin problemas, pero no de manera eficiente. Para una mayor eficiencia de combustible, Ford y Bosch desarrollaron la bomba CP4 para los modelos a partir de 2011. La bomba de alta presión CP4 crea una presión más alta con menos volumen, por lo que es una bomba más eficiente que su predecesora. Según la página de BOSCH menciona que la bomba CP4 tiene la capacidad de destruir todo el sistema de combustible en algunos vehículos y provocar reparaciones costosas por su gran tecnología y potencia.

1.8. Bomba de alta presión CP4

La bomba de alta presión CP4 debutó en el segmento de camiones de América del Norte en 2011 tanto en el Power Stroke como en el LML Duramax, entrega el combustible a alta presión en el riel conectado. Maneja niveles de presión de 1.800 a 2.700 bar y se utiliza para aplicaciones dentro y fuera de la carretera, desde automóviles de pasajeros, vehículos livianos y medianos hasta vehículos pesados pequeños. Las variantes hechas a medida para cada segmento se diferencian, por ejemplo, en cuanto a la vida útil, la robustez y el caudal máximo (BOSCH, 2019).

1.8.1. Funcionamiento de la bomba de alta presión CP4

Las bombas CP4 garantizan una calidad de alto volumen y presión, permiten una inyección de combustible eficiente y exacto. Además, consta de uno o dos elementos de alta presión, cada uno integrado en una carcasa con su propio árbol de levas. El árbol de levas de la bomba es impulsado por ruedas dentadas y mueve los pistones de la bomba para generar la alta presión requerida (BOSCH, 2022).

La unidad de control del motor permite la entrega de la cantidad requerida de combustible. Se comunica con la unidad de medición o la válvula de succión eléctrica opcional conocida como eSV en la bomba. El uso de la eSV mejora el llenado de la bomba de alta presión en comparación con la variante con unidad de dosificación, especialmente en los rangos de velocidad más altos, las partes y componentes descritos se aprecian en la figura 3.

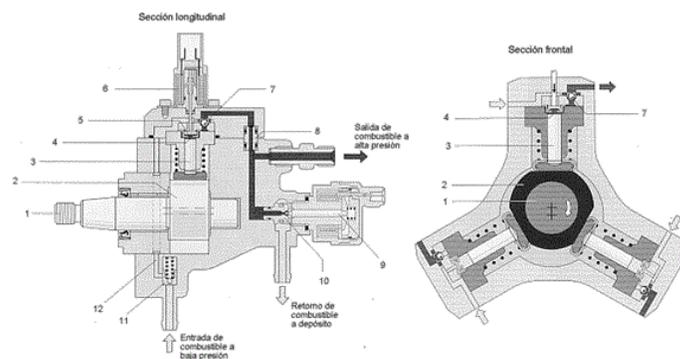


Figura 3.1 Partes de la bomba de alta presión CP4

(1. Árbol de accionamiento 2. Leva excéntrica 3. Embolo 4. Cámara de compresión 5. Válvula de aspiración 6. Válvula de desconexión del elemento 7. Válvula de salida 9. Válvula reguladora de alta presión)
Fuente: (S&S DIESEL, 2019)

1.8.1.1. Árbol o eje de accionamiento

En la figura 4 se observa una representación en tres dimensiones de la posición del eje de accionamiento en la bomba de alta presión, dicha bomba tiene una leva excéntrica la misma que se observa en la figura 5, esta excéntrica actúa a través de un disco de elevación, con el cual provoca un movimiento de ascenso y descenso en tres émbolos de bomba dispuestos decalados radialmente a 120° (Botwinska et al., 2022).

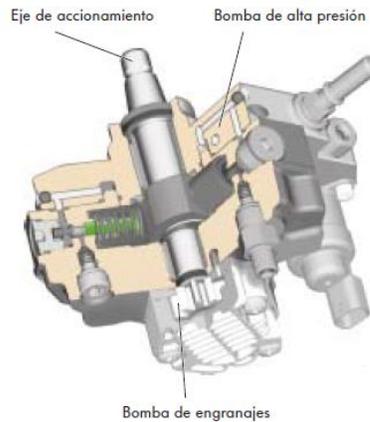


Figura 4.1 Partes de la bomba de alta presión vista 3D

Fuente: Botwinska K (2022)

La excéntrica es una variación del mecanismo leva-seguidor. Consiste en una rueda cuyo eje de giro no coincide con el centro de la circunferencia. Transforma el movimiento de rotación de la rueda en un movimiento lineal alternativo del seguidor (BOSCH, 2019).



Figura 5.1 Excéntrica en el eje de accionamiento

Fuente: (Botwinska K, 2022)

1.8.1.2. Leva excéntrica

El sistema de leva es un mecanismo que permite transformar un movimiento rotatorio en lineal alternativo. Se basa en un elemento de contorno no circular que gira sobre un punto, al girar el perfil de este elemento provoca la subida o la bajada de un seguidor de leva o un palpador (Igumnov et al., 2017).

En la figura 6 se visualiza el movimiento lineal mediante un muelle que ejerce sobre la válvula (émbolo), la válvula actúa sobre un elemento (empujador) para generar el movimiento giratorio sobre el eje de levas este sistema construye una leva excéntrica.



Figura 6.1 Leva excéntrica

Fuente: (Igumnov, 2017)

1.8.1.3. Émbolo, elemento o pistón

El émbolo de la bomba alcanza el impulso del combustible a gran presión y también se encarga de la regulación del caudal. El movimiento descendente del émbolo de la bomba se traduce en un aumento de volumen en la cámara de compresión. Esto hace que descienda la presión del combustible en la cámara de compresión. Debido a la presión generada por la bomba de engranajes puede pasar ahora combustible a través de la válvula de admisión hacia la cámara de compresión (Tjahjono et al., 2019).

Al comenzar el movimiento ascendente, el émbolo aumenta la presión en la cámara de compresión. Esto hace que el disco de la válvula de admisión sea oprimido hacia arriba y cierre la cámara de compresión, ver figura 7.

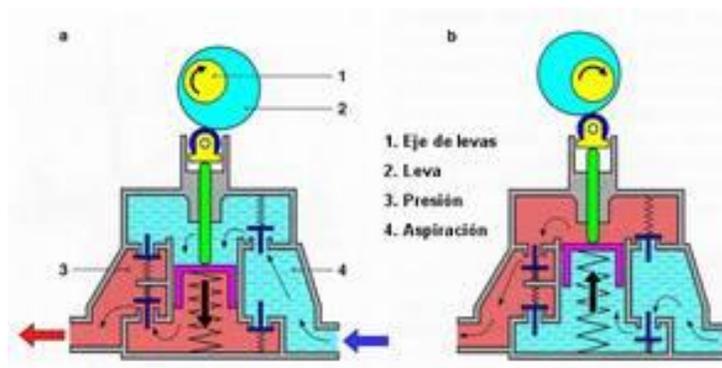


Figura 7.1 Movimiento ascendente y descendente del émbolo
Fuente: (Tjahjono, 2019)

1.8.1.4. Cámara de compresión

En la figura 8 se muestra el proceso mediante el cual la presión del combustible en la cámara de compresión supera la presión que hay en la zona de alta presión, la válvula de escape abre y el combustible pasa por el conducto anular hacia el acumulador de alta presión (Vass & Zöldy, 2019).

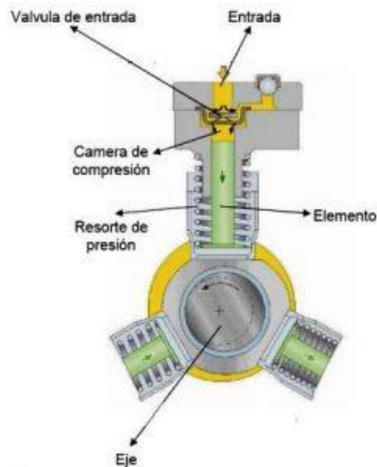


Figura 8.1 Cámara de compresión

Fuente: (Tjahjono, 2019)

1.8.1.5. Válvula de aspiración o admisión

El combustible entra a través de la válvula de admisión, la misma es forzada a cerrar el conducto de entrada debido a que la presión aumenta progresivamente hasta que se abre la válvula de envío, saliendo el combustible por el ducto de alta presión y canalizándose hacia el regulador de presión (Sorlin, 2017), este proceso se ilustra en la figura 9.

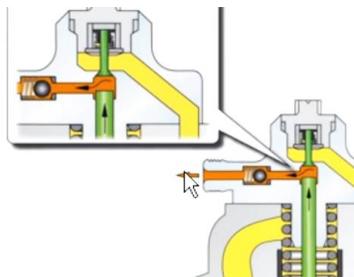


Figura 9.1 Proceso de la válvula de aspiración

Fuente: (Sorlin, 2017)

1.8.1.6. Válvula de dosificación de combustible N290

La válvula de dosificación del combustible va integrada en la bomba de alta presión, se encarga de regular en función de las necesidades la presión del combustible en la zona de alta

presión. Para aumentar la cantidad que fluye hacia la bomba de alta presión, la unidad de control excita la válvula de dosificación de combustible N290 por medio de una señal modulada en anchura de los impulsos PWM (BOSCH, 2019).

Con la señal PWM se cierra de forma periódica de intervalos establecidos y hace que se genere una presión de control detrás de la válvula, la cual actúa sobre el émbolo regulador y permite que el sistema actúe continuamente, la figura 10 detalla este proceso a continuación.

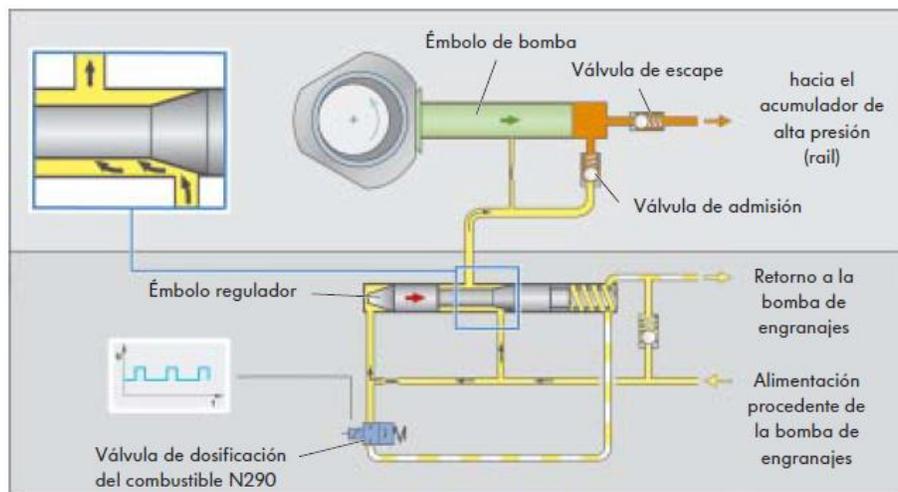


Figura 10.1 Válvula de dosificación de combustible N290

Fuente: (BOSCH, 2019)

1.8.1.7. Válvula reguladora de alta presión

La válvula reguladora de presión está compuesta por un cuerpo metálico que permite el embridaje sobre la bomba de alta presión o sobre el raíl de inyección, en su interior, se encuentra un inducido que presiona una bola contra el asiento de estanqueidad (paso de carburante), mostrada en la figura 11. En función de la presión de la bola contra este asiento, se permite o no la comunicación entre el circuito de alta y baja presión (Aishwarya, 2020).

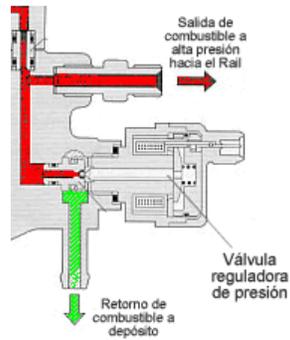


Figura 11.1 Válvula reguladora de presión

Fuente: (Aishwarya, 2020)

1.9. Mantenimiento preventivo en motores de diésel

El mantenimiento automotriz es una de las tareas más importantes para conservar y disminuir el riesgo de daños mayores a los componentes de los diferentes sistemas del vehículo con el fin de prolongar la vida útil del automóvil y prevenir futuras fallas que representen gastos económicos muy altos.

1.9.1. Mantenimiento preventivo automotriz

El mantenimiento preventivo automotriz consta de una serie de revisiones que se efectúan en un tiempo determinado para disminuir las probabilidades de fallas o desgastes que amerite una reparación costosa del vehículo (Díaz & Albo, 2019).

Dentro de los parámetros establecidos para garantizar un mantenimiento preventivo eficaz se determina dos aspectos importantes a considerar:

1.9.1.1. Por desgaste

Suceso en un equipo o cualquiera de sus elementos, que éste experimenta un estado fuera de su condición normal de utilización; pero que no determina indisponibilidad. Es progresiva, cuando permite prever su aparición y dar seguimiento a su evolución, ya que está relacionada con el desgaste, desajustes, ruidos, entre otros (Garcés & Inca, 2016).

1.9.1.2. Por fallas o defectos

Es un suceso no previsible, en un equipo o de sus elementos que este experimenta un estado fuera de su condición normal de utilización, forzando su indisponibilidad (Garcés & Inca, 2016).

1.9.2. Acciones para aplicar dentro del mantenimiento preventivo

Los motores diésel requieren de mantenimiento general y específico, entre las acciones a realizar dentro del mantenimiento preventivo se detallan las siguientes:

1.9.2.1. Sistema de combustión

Durante la vida útil del motor, el combustible representa alrededor del 75% del total de los costos de operación. Más aún, si la calidad del combustible no se mantiene, puede causar fallas prematuras del motor o mal funcionamiento de este. Dentro de las acciones de mantenimiento, la revisión de la calidad del combustible no es prioridad dentro de los servicios de mantenimiento (Hartford Steam Boiler, 2018).

Existe varios aspectos importantes que deben ser considerados, tales como:

- **Calidad de su Combustible.** - Las especificaciones técnicas de desempeño para los motores diésel están basadas en un tipo de combustible específico. Las calidades normalmente disponibles para uso en motores diésel de media y alta velocidad deben ser de acuerdo con las características técnicas del vehículo, siempre es necesario conocer las propiedades del combustible utilizado y cómo se compara con el combustible de base indicado en las especificaciones de desempeño.

Como concedores de conceptos y normativas técnicas las cuales rigen la obtención y comercialización de los combustibles, debemos tener presente las repercusiones en los componentes mecánicos internos del motor, que traen consigo las deficiencias que tienen los combustibles producidos en nuestro país, dichos valores se presentan en la figura 12.

Requisitos del diésel Premium

REQUISITOS	Unidad	mínimo	máximo	Método de ensayo
Punto de Inflamación	°C	51,0	-	NTE INEN 1493 Procedimiento A
φ Contenido de agua y sedimento	%	-	0,05	NTE INEN 1494
W Contenido de residuo carbonoso sobre el 10% de residuo de destilación	%	-	0,15	NTE INEN 1494
W Contenido de cenizas	%		0,01	NTE INEN 1492
Temperatura de destilación del 90%	°C	-	360	NTE INEN 926
Viscosidad cinemática a 40°C	mm ² /s	2,0	5,0	NTE INEN 810
Contenido de azufre	ppm	-	500	ASTM 4294 NTE INEN 1490
Corrosión a la lámina de cobre	Clasificación		No.3	NTE INEN 927
Índice de cetano	-	45,0	-	NTE INEN 1495
Contenido de biodiésel, $\varphi_{\text{Biodiesel}}$ *	%	5	10	EN 14078
* Se debe considerar este parámetro siempre y cuando el diesel esté adicionado con biodiesel				

Figura 12.1: Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN
Fuente: INEN 1489:2012(2012)

- **Edad del Combustible.** - El combustible diésel es más propenso a la oxidación que la gasolina. Por lo tanto, nunca debe permanecer en almacenamiento por más de 12 meses. Así como la temperatura y las óptimas condiciones de las instalaciones de almacenamiento deben garantizar o un su defecto reducir al mínimo la presencia de agua.
- **Limpieza.** - Los sistemas de inyección de combustible diésel dependen de ductos de flujo pequeños y de espacios libres muy reducidos. Ellos no pueden tolerar impurezas en el combustible. Esto significa que los filtros de combustible deben recibir mantenimiento de acuerdo con la programación publicada por los fabricantes.

en el caso de la pick up Volkswagen Amarok tenemos como referencia el cambio de filtros de combustible cada 15 mil kilómetros. de esta forma evitamos que las partículas de materiales sólidos ingresen a la bomba provocando daño en los componentes internos, así como también daño en los inyectores piezoeléctricos.

- **Combustión en condiciones de altura** – La composición propia del diésel en nuestro país, la cual presenta un grado alto de azufre da paso a que la condición de baja temperatura se genere una mala combustión, produciendo humo negro y formando SO₂, así mismo al estar el azufre asociado a ciertos metales pesados existe la probabilidad de que estos generen daños internos en la bomba de presión, además de producir excesiva cantidad de humo negro incluso en vehículos nuevos. Por lo cual es recomendable el uso de aditivos que ayuden a atenuar estos efectos.

1.9.2.2. Sistema de enfriamiento

El sistema de enfriamiento de un motor diésel debe ser capaz de remover de manera continua aproximadamente el 30% del calor generado por la combustión de su combustible sin recalentarse (Hartford Steam Boiler, 2018).

Dentro de los aspectos del sistema de enfriamiento existen:

- **Nivel del Refrigerante.** - El nivel del refrigerante es crítico para el funcionamiento apropiado de un sistema de enfriamiento. Si el nivel del refrigerante cae hasta un punto donde el aire es arrastrado hacia las chaquetas de enfriamiento, la capacidad de enfriamiento se reducirá, resultando en daños mecánicos serios, incluyendo la corrosión de la cavitación. Revise siempre el nivel del refrigerante (Romanov & Khozeniuk, 2016).

- **Composición del Refrigerante.** - El refrigerante de motores es una mezcla de etileno o de anticongelante con base de glicol propileno y agua. El punto de congelación de la mezcla dependerá de la cantidad relativa de glicol usada. Es importante usar la mejor agua disponible mezclada con no más de un 60% de anticongelante con base de glicol etileno, o no más de un 50% de anticongelante con base de glicol propileno.
- **Integridad del Sistema de Enfriamiento.** - La inducción de aire en un sistema de enfriamiento es una cuestión muy importante, dado que puede causar cavitación interna y manchas de corrosión en las chaquetas de agua, sobre todo en las partes de más altas temperaturas, como las fundas de los cilindros (Hartford Steam Boiler, 2018).

1.9.2.3. Lubricación

La lubricación del motor es el elemento individual más importante de un buen programa de mantenimiento. El aceite del motor lubrica las partes móviles; proporciona protección contra la corrosión; absorbe y neutraliza los contaminantes; sirve como refrigerante; y es un sellador. A través de cambios regulares de aceite y filtros, el aceite remueve las materias extrañas del motor, mientras contribuye a la limpieza interior y minimiza el desgaste (Jaaskelainen & Majewski, 2016).

1.10. Mantenimiento preventivo en bomba de alta presión CP4

Las principales causas de fallas en la bomba de alta presión CP4 se deben a la mala calidad del combustible, deterioro del filtro de combustible o el desgaste de las piezas mecánicas por el roce persistente entre ellas, al cual se someten por la mala lubricación (Osipowicz, 2015).

Las fallas más frecuentes en bombas de alta presión CP4 son las siguientes:

1. Variación en las revoluciones, el motor comienza a dar sacudidas o cascabelear generando pérdida de potencia y ralentiza el tiempo de respuesta a la aceleración.

2. Problemas de encendido en frío y en caliente, esto se debe a problemas de inyectores por desgaste y caída de presión o por problemas de temperatura del combustible, si el combustible tiene temperatura muy alta el combustible pierde viscosidad y no enciende.
3. Fugas en la bomba producidas por faltas de lubricación, posiblemente debido a la obstrucción de conductos internos.
4. Altos niveles de Opacidad, puede ser producido por fallas internas de la bomba, así como también falla en los sistemas de tratamiento de gases, como filtro de partículas y catalizador de gases.

CAPÍTULO II

Materiales y métodos

En este capítulo se realiza la descripción del proceso de análisis de los parámetros actuales de la bomba de alta presión para realizar un posterior diagnóstico, además, se efectuará un desmontaje total de las partes y piezas con el objetivo de identificar las causas que originan el desgaste y los daños sobre el objeto de estudio.

Con el propósito de realizar las mediciones correspondientes se utilizaron los equipos y herramientas que serán detallados a continuación.

2.1. Equipos y herramientas

En este tipo de bomba de alta presión el principal parámetro a tener en consideración es la temperatura y presión de entrada y de salida teniendo esto en cuenta es necesario utilizar los siguientes equipos.

2.1.1. Banco de prueba de codificación de inyector piezoeléctrico

El banco de pruebas está diseñado para inyectores diésel, es un banco CRDI para una bomba y 4 inyectores con codificación y medición de ajuste por inductancia y capacitancia con posibilidad de probar 4 inyectores al mismo tiempo, su banco de datos contine un plan de prueba disponible para el tipo de inyector Bosch-Delphi-Denso-Siemens.

El banco de pruebas puede ensayar automática o manualmente la información que entrega el banco se puede guardar e imprimir en un informe de cada prueba realizada.

Posee un sistema de control por computadora, la capacidad de prueba es entre 200-2000 bar con un intervalo de tiempo de 3000 us, este banco tiene la capacidad de medir el presión y caudal en la bomba, tiempo de respuesta del inyector, la temperatura, control de transmisión o velocidad, control de DRV (Tipo 507). En la figura 13 se muestra el banco de pruebas de inyectores.



Figura 13.2 Banco de Pruebas de Inyectores

Características Técnicas generales:

- Prueba automáticamente varios inyectores de válvula solenoide e inyector piezoeléctrico
- Prueba automáticamente el rendimiento de la válvula solenoide del inyector
- Código IMA generado para Bosch
- Configurar la curva de corriente de inyección, el tiempo de inyección y la presión.
- Probar la corriente de la válvula solenoide del inyector, la elevación del conjunto de la válvula, la elevación de la inyección de combustible.
- Limpieza a alta presión de impurezas adheridas a las partes internas del inyector.
- Prueba de atomización para evaluar si el inyector está bloqueado por efecto de atomización.
- Prueba de sellado para comprobar el rendimiento de sellado de la boquilla, la tuerca de la tapa de la boquilla y la válvula solenoide.

2.1.2. Banco de pruebas de bomba CRDI

El banco de pruebas SM310E es un equipamiento compacto, versátil y con fácil manipulación, este equipo permite realizar pruebas de válvulas de DRV, MPROP y válvula de

alivio, y realizar las pruebas de las válvulas de desligadura en la propia bomba Common Rail (Speddmaq, 2017).

Las bombas Common Rail del propio vehículo también puede ser probado en las siguientes maneras: pruebas de vaciamiento a través de la probeta 0-150 y pruebas de la bomba auxiliar a través del manómetro 0 a 16kgs, ambos situados en el panel como se visualiza en la figura 14.



Figura 14.2 Banco de Pruebas Bomba CDRi

El equipo consta de un software desarrollado por Speedma, por efecto su configuración esta predeterminada con la rotación de la bomba Common Rail, que se activa luego que el operador selecciona el modelo de la bomba, también proporciona al operador de los comandos de accionamiento y controles precisos, así como tablas y planes de prueba para bombas Common Rail, CP1, CP3, CP4 y unidades electrónicas UP, IU, EUI, Bosch y Delphi.

Atributos:

El SM310E está equipado con un motor 7.5 kW (10HP). El accionamiento se realiza mediante el inversor de frecuencia de alta tecnología. En el área de operación de trabajo tenemos un módulo de protección en acero y acrílico de 6mm, siendo un lado con puerta corredera y otro

con una puerta que es articulada, por lo que es posible trabajar en ambos lados del equipamiento (Speddmaq, 2017).

2.1.3. Herramienta menor

La herramienta menor está destinada para el mantenimiento y reparación de diversas fallas o errores que se presentan en los vehículos, dichas herramientas, juegan un papel primordial en el funcionamiento de todo taller automotriz donde permiten realizar un trabajo eficiente y ofrecer un servicio profesional, dentro de la clasificación de herramienta menor tenemos las siguientes:

2.1.3.1. Herramientas de sujeción

Se caracterizan por tener la función de sujetar dos o más elementos durante la ejecución de alguna maniobra. Entre las más usuales se encuentran los tornillos de banco, mordazas, alicates, desarmadores, pinzas, entre otros.

2.1.3.2. Herramientas de fijación

Se usan durante el reensamblaje del automóvil, estas herramientas pueden usarse como fijadores de piezas originales o para fijar roscas y otros enlazadores. Las más comunes dentro de esta categoría son las abrazaderas, así como los productos químicos que garantizan la fijación adecuada.

2.1.3.3. Herramientas de corte

Estas herramientas automotrices se usan exclusivamente para cortar o separar algún material. Suele usarse para reparaciones, y entre las más comunes se encuentran las seguetas, cortadores de tubos, macho de roscar y cizalla.

2.1.3.4. Herramientas de medición

Estas herramientas se caracterizan por calcular el tamaño de las piezas o partes del automóvil con el fin de establecer medidas exactas para la realización de ciertas acciones. Las

más usuales en esta categoría son el flexómetro, el micrómetro, la regla graduada, el calibre, la escuadra, el manómetro, entre otras.

2.1.3.5. Herramientas de desmontaje de inyectores

Estas herramientas se usan para trabajos específicos con el objetivo de facilitar la extracción de los inyectores así como colocar y calibrar la junta de teflón de la cámara de combustión, tanto la extracción como el montaje de los inyectores debe hacerse con el motor en frío, el circuito de combustible de alta presión debe encontrarse despresurizado antes de proceder al desmontaje de cualquier elemento del mismo y no pueden utilizarse herramientas de impacto directamente sobre los inyectores en el proceso de desmontaje o montaje.

2.2. Montaje y desmontaje de la bomba de alta presión CP4

La bomba de alta presión CP4 dispone de piezas que deben ser desmontadas en un orden específico y bajo ciertas condiciones y cuidados. En el siguiente apartado se describe las principales consideraciones a tomar en cuenta antes de efectuar estas acciones.

- Tener en cuenta las indicaciones de reparación
- El sistema de combustible muy alta presión 180 MPa (1800 bar)
- No debe realizarse ningún trabajo en el sistema de inyección con el motor en marcha
- Dejar enfriar el motor
- Recién al cabo de 60 s trabajar en el motor detenido
- Prestar atención a la máxima limpieza
- Cerrar las uniones de tuberías en el vehículo y abrirlas de nuevo justo antes del montaje del componente.

2.2.1. Desmontaje de bomba de alta presión

Para realizar el despiece de los componentes de la bomba de alta presión se debe tener en cuenta los siguientes pasos.

- Encendido desconectado
- Quitar la conexión a negativo de la batería de 12 V
- Evitar que los códigos de seguridad se puedan borrar
- Desmontar cubierta del motor
- Desmontar la bomba de alta presión

Una vez determinada la ubicación de la bomba y retirado los componentes mencionados se procede a realizar el desmontaje, la figura muestra la ubicación de los componentes que se detallaran a continuación, los pasos a realizar son los siguientes.

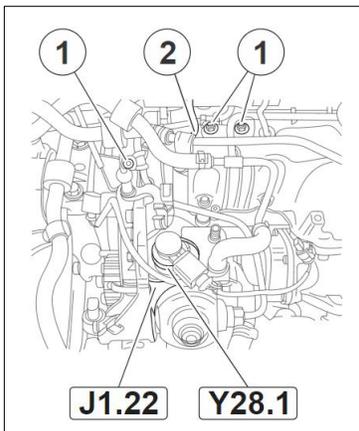


Figura 15.2 Componentes motor

Fuente: (Bosch, 2022)

Donde:

- 1 Tornillos de fijación
- 2 Conexión de enchufe de bujía incandescente del motor cilindro
- J1.22 Bomba de alta presión
- Y28.1 Unidad de medición de combustible

El proceso a realizar es el siguiente:

1. Extraer conexión de enchufe de la bujía incandescente del motor cilindro
2. Aflojar tornillos de fijación y retirarlos

3. Poner a un lado el tubo flexible de refrigerante, así se facilita el desmontaje de la bomba de alta presión.
4. retirar las cañerías de entrada y salida del combustible de la bomba de alta presión CP4.
5. Retirar el protector plástico de las bandas de distribución y accesorios.
6. Colocar el motor en punto muerto superior, señalar y trabar la polea de la distribución y de la bomba.
7. Aflojar y retirar el templador de la banda para luego desmontar la misma.
8. Extraer la brida de arrastre de la bomba con una herramienta adecuada.
9. Extraer conexión de enchufe de la unidad de medición de combustible.
10. Desmontar el conducto de retorno de combustible de la bomba de alta presión.
11. Desmontar el conducto de admisión de combustible de la bomba.
12. Soltar la tuerca de racor de la tubería de alta presión de combustible en la bomba.
13. Desmontar el (los) conducto(s) de alta presión del combustible.
14. Después del desmontaje, cerrar los orificios de los componentes inmediatamente con cubiertas de cierre limpios y apropiados.
15. Con la herramienta especial de sujeción, aflojar y retirar la tuerca de la bomba de alta presión CP4.
16. Aflojar y desenroscar los tornillos de fijación de la bomba de alta presión.
17. Retirar la bomba de alta presión.

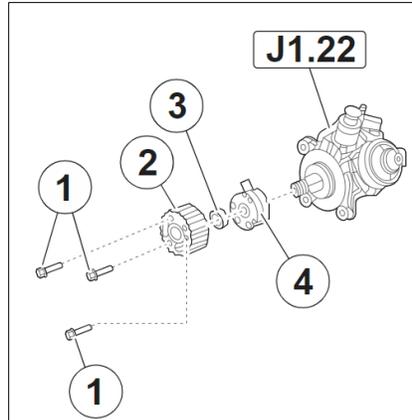


Figura 16.2 Piezas desmontaje bomba de alta presión CP4

Fuente: (Bosch, 2022)

Donde:

- 1 Tornillos de fijación
- 2 Piñón de la correa dentada
- 3 Tuerca de fijación
- 4 Brida de arrastre
- J1.22 Bomba de alta presión

La figura 15 muestra el proceso de despiece hasta realizar el desmontaje de la bomba CP4.

2.2.2. Montaje de bomba de alta presión

Una vez realizado las revisiones correspondientes se procede a realizar el montaje del nuevo equipo para ellos se debe tomar en cuenta el siguiente proceso.

- Montar bomba de alta presión

En este paso se debe tener presente varias consideraciones para evitar daños en el equipo, las principales son:

1. En ningún caso doblar la tubería de combustible de alta presión

2. Comprobar el cono de junta de la tubería de alta presión del combustible respecto a puntos de presión.
3. En caso dado, sustituir la tubería de alta presión de combustible.
4. Para evitar el funcionamiento en seco y daños, debe llenarse la bomba de alta presión con combustible antes del montaje
5. Montar y apretar la bomba con un par de apriete de $20 \text{ Nm} + 180^\circ$
6. Montar el conducto de admisión del combustible en la bomba
7. Montar el conducto de retorno del combustible de la bomba
8. Montar la(s) tubería(s) de alta presión del combustible
9. Comprobar si ambas tuercas de racor en el conducto de alta presión tienen facilidad de movimiento.
10. Apretar la(s) tuerca(s) de racor de la(s) tubería(s) de combustible de alta presión de la bomba con un par de apriete 28 Nm .
11. Apretar la(s) tuerca(s) de racor de la(s) tubería(s) de combustible de alta presión del rail con un par de apriete 28 Nm .
12. Conectar el enchufe de la unidad de medición de combustible
13. Calar la brida de arrastre sobre el árbol de accionamiento de la bomba.
14. Apretar la tuerca de fijación de la brida de arrastre
15. Utilizar contra soporte con par de apriete de 95 Nm
16. Montar la rueda de correa dentada de la bomba de alta presión
17. Colocar y apretar tornillo(s) de fijación con un par de apriete de $20 \text{ Nm} + 90^\circ$
18. Apretar el (los) tornillo(s) de fijación
19. Conectar el enchufe de la bujía incandescente del motor cilindro
20. Montar correa dentada

- Conectar borne negativo de la batería 12V
- Purgar el aire del sistema de combustible usando el scanner.
- Comprobar estanqueidad y funcionamiento del sistema del combustible.
- Instalar cubre motor.
- Borrar la memoria de averías, realizar una marcha de prueba y leer nuevamente la memoria de averías.

2.3. Descripción estado actual bomba de alta presión

Para determinar el estado actual de la bomba CP4 fue requerida realizar pruebas tanto de inspección visual para determinar el desgaste del material y estado físico como de funcionamiento para los parámetros técnicos de rendimientos (presión, temperatura, PWM). La figura 17 muestra la bomba de alta presión con montaje en el vehículo.



Figura 17.2 Bomba CP4 con montaje en vehículo

Para acceder a la bomba se requiere liberar el área donde se encuentra ubicada, retirando conexiones que obstaculizan la manipulación de la misma. Una vez realizado se procede a determinar el estado de la bomba, siendo lo más relevante lo que se detalla a continuación.

- Se observa desgaste en la superficie mecánica en la bomba
- Se encontró partículas metálicas en el interior de la bomba

- La señal de salida presenta alteraciones en su funcionamiento
- Los gases emitidos superan los niveles de contaminación

2.4. Análisis de datos bomba CP4 actual instalada

En el laboratorio de la carrera de ingeniería automotriz se realizó la medición de parámetros de la bomba instalada, dando como resultados los siguientes valores:

2.4.1. Valores nominales de ralentí

La bomba de alta presión presenta los siguientes valores nominales de ralentí medidos, es decir, el régimen mínimo de revoluciones a las cuales se puede mantener estable el motor sin requerir aceleración o combustible, ver figura 18.

Control del motor 1 / Diesel EDC 17CP20 UDS	
Valores reales	
Número de revoluciones del motor	872 1/min
Sistema de alta presión combustible: Presión (valor nominal)	278,1 bar
Sistema de alta presión combustible: Presión	278,8 bar
Sensor de presión de combustible: Tensión	1,053 V
Activación regulador presión sistema	18,0 %
Válvula de regulación de presión: Factor adaptación	1,077
Unidad de medición de combustible: Activación	34,5 %
Temperatura del combustible	40,1 °C

Figura 18.2 Valores nominales de ralentí

2.4.2. Análisis de datos de presión

Las pruebas realizadas en el módulo piezoeléctrico CDRI mostraron que los niveles de alta presión se encontraban alrededor de los 465 bar. Ver figura 19.

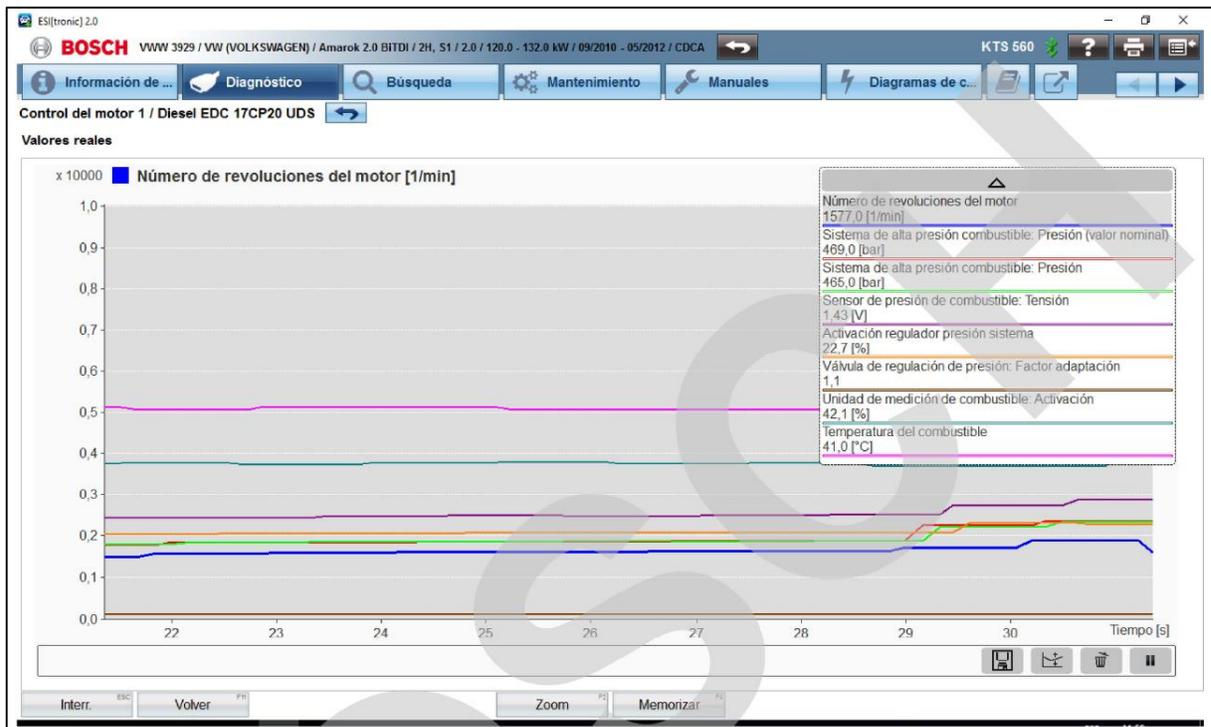


Figura 19.2 Datos de presión a 1577 rpm

2.4.3. Análisis de datos de temperatura

El módulo de pruebas arroja un valor de 41.0° C, con lo que se puede establecer que el sensor esta se encuentra en perfectas condiciones y totalmente operativo como se muestra en la figura 19.

2.4.4. Análisis de datos del control de unidad (señal PWM)

El valor de señal de apertura y cierre de la electroválvula y se mide su respuesta donde se encontró que el rango de trabajo correcto este entre 1 – 6.52 V, confirmando mediante la pantalla del software que dichos valores se encuentran en un rango bajo, los datos medidos se muestran en la figura 20.



Figura 20.2 Señal PWM válvula reguladora

El ancho de pulso representa el porcentaje de apertura de la válvula, entre mayor sea la apertura mayor cantidad de caudal ingresa a la bomba.

2.5. Análisis de datos del repuesto de la bomba CP4

Al realizar las mediciones correspondientes al repuesto de la bomba CP4 dio como resultado los siguientes valores:

2.5.1. Valores Reales

Los siguientes valores de ralentí medidos en revoluciones de 2070 rpm se estable el motor sin requerir aceleración o combustible, ver figura 21.

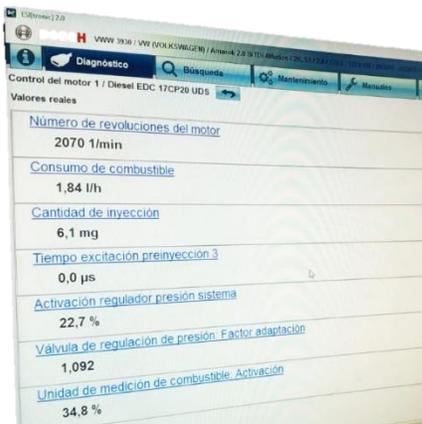


Figura 21.2 Valores nominales de ralentí

2.5.2. Análisis de datos de presión

Se mostro que los niveles de alta presión se encontraban alrededor del 22%, demostrando que existe un nivel óptimo de presión. Ver figura 21.

2.5.3. Análisis de datos de temperatura

El módulo de pruebas arroja un valor de 41.0° C, con lo que se puede establecer que el sensor esta se encuentra en perfectas condiciones y totalmente operativo como se muestra en la figura 21.

2.5.4. Análisis de datos del control de unidad (señal PWM)

La señal de apertura y cierre de la electroválvula se encontró que el rango de trabajo correcto este entre 1 – 7.34 V, confirmando mediante la pantalla del software que dichos valores se encuentran en un rango normal, lo que descarta daños en esta pieza, los datos medidos se muestran en la figura 22.



Figura 22.2 Señal PWM válvula reguladora

2.6. Comparación de valores reales del sistema

En la tabla siguiente se muestra los valores reales de medición de la bomba en magnitudes de revoluciones diferentes.

Tabla
Valores generales del sistema

1

Prueba con valores reales del vehículo a 2000 rpm			
N°	Descripción	Componente antiguo	Componente nuevo
1.	Valor de carga calculado	25,1%	21,2 %
2.	Limitación par motor (limitación gases)	178,7 Nm	171,3 Nm
3.	Par de arrastre motor	36,5 Nm	41,9 Nm
4.	Consumo de combustible	1,96 l/h	1,69 l/h
5.	Cantidad a inyectar al arrancar	14,80 mg	18,98 mg
6.	Sistema de alta presión combustible: Presión	508,9 bar	529,5 bar
7.	Sensor de presión de combustible: Tensión	1,551 V	1,524 V

Prueba con valores reales del vehículo a 2500 rpm			
N°	Descripción	Componente antiguo	Componente nuevo
1	Par de giro motor	42,8 Nm	51,4 Nm
2	Valor de carga calculado	19,6 %	26,3%
3	Limitación par motor (limitación gases)	200,6 N	205,2 Nm
4	Par de arrastre motor	39,7 Nm	43,4 Nm
5	Consumo de combustible	2,94 l/h	2,70 l/h
6	Cantidad a inyectar al arrancar	14,80 mg	18,98 mg
7	Sistema de alta presión combustible: Presión	556,7 bar	603,3 bar
8	Sensor de presión de combustible: Tensión	1.680 V	1.704 V

CAPÍTULO III

Resultados

El presente capítulo comprende el análisis de la información obtenida en las pruebas de laboratorio mediante los equipos de medición, se detallan causas, consecuencias y principales novedades encontradas en la bomba de alta presión, además se incluye la guía para su respectivo mantenimiento.

3.1. Análisis comparativo de componentes defectuoso y nuevo.

Una vez obtenido los datos podemos evidenciar que existen variaciones significativas entre los parámetros medidos.

Prueba con valores reales del vehículo a 2500 rpm				
Nº	Descripción	Componente antiguo	Componente nuevo	Incremento en la mejora %
1	Par de giro motor	42,8 Nm	51,4 Nm	20.09%
2	Valor de carga calculado	19,6 %	26,3%	34.18%
3	Limitación par motor (limitación gases)	200,6 N	205,2 Nm	2.29%
4	Par de arrastre motor	39,7 Nm	43,4 Nm	9.3%
5	Consumo de combustible	2,94 l/h	2.70 l/h	9.2% (eficiencia)
6	Cantidad a inyectar al arrancar	14,80 mg	18,98 mg	28.2% (aumento en el caudal)
7	Sistema de alta presión combustible: Presión	556,7 bar	603,3 bar	8.3%
8	Sensor de presión de combustible: Tensión	1.680 V	1.704 V	

Como se puede observar las mejoras en el rendimiento general del motor se debe a que los componentes nuevos cambiados tales como la bomba de alta presión CP4 y el juego de inyectores piezo eléctricos, al presentar un desgaste nulo hacen que los valores de eficiencia suban

considerablemente y los de consumo disminuyan, esto permitió eliminar algunos defectos presentados anteriormente tales como:

- fluctuación en los valores de retorno de combustible al tanque
- valores de opacidad altos
- consumo de combustible medio-alto
- tiempo de respuesta bajo
- códigos de falla
- fugas

3.2. Evaluación del estado de las piezas

La bomba de alta presión CP4 a Diesel se encuentra instalada en la camioneta Volkswagen Amarok 2012, el vehículo se visualiza en la figura 23. Una vez desmontada y realizado el despiece de la bomba, se procedió a evaluar el estado interno de las piezas en las instalaciones de taller automotriz que dispone la carrera, donde se encontró lo siguiente.



Figura 23.3 Volkswagen Amarok 2012

a. Pruebas de presión y caudal.

Se encontró que la bomba no cumple con los parámetros requeridos para el correcto funcionamiento encontrándose presión baja y caudal insuficiente de combustible hacia los inyectores, siendo principal consecuencia una opacidad muy alta. Otro factor importante es la vibración que presenta la bomba.

b. Se observa desgaste en el émbolo

c. Presencia de partículas metálicas

La principal causa de esta falla se debe a la fricción generado por el movimiento del eje excéntrico, debido a la poca lubricación producido por combustible de bajo octanaje.

d. Rotura de empaque

Al realizar el despiece se pudo verificar que la integridad de los empaques se encontraba comprometida, esto generado pérdidas de presión y posibles fugas de líquido.

e. Impurezas en el filtro

Debido a la mala calidad del combustible el filtro presenta una gran cantidad de impurezas que al no haber sido reemplazado permitió que estas se filtraran hacia la bomba originando las fallas antes mencionadas.

Este tipo de bombas presenta dos situaciones diferentes, puede ser reparada mediante mantenimiento cuando existe daño en el eje excéntrico, ya que es una pieza que cuenta con repuestos, la segunda situación donde el daño abarca las demás partes el mantenimiento no es posible y la bomba debe ser cambiada en su totalidad.

En el caso de estudio se encontró daños en el eje y demás piezas internas haciendo inviable su mantenimiento preventivo requiriendo ser de tipo correctivo ya que se requiere su cambio

3.3. Guía de mantenimiento preventivo

En el siguiente apartado se procede a detallar una serie de pasos que permitirán al técnico automotriz realizar un mantenimiento preventivo a la bomba de alta presión CP4 donde los principales aspectos a considerarse son: limpieza, ajuste y lubricación. Con estos parámetros se establecen lo siguiente.

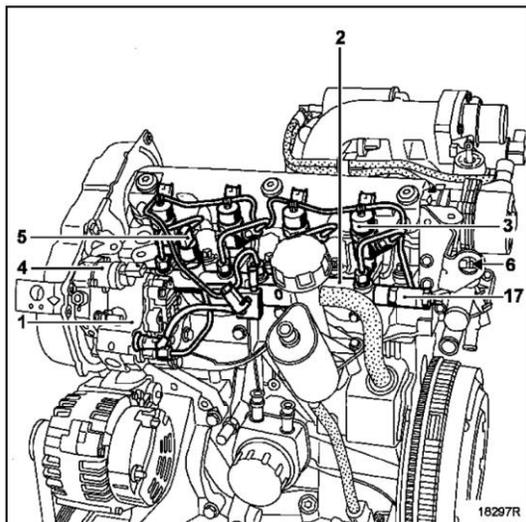
GUÍA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO BOMBA CP4

1. DESMONTAJE DE LAS PARTES

- a. Apagar vehículo y bloquearlo: verificar la ausencia total de energía para garantizar la seguridad del operador.
- b. Desconexión líneas suministro: desconectar mangueras de suministro de la bomba (alta y baja presión).
- c. Desconexión de alimentación electroválvula: retirar tornillo de sujeción y quitar conector.
- d. Desconexión de tuberías y accesorios: retirar componentes que obstaculicen el libre acceso hacia la bomba de alta presión.
- e. Identificación de los puntos de sincronización del motor y la bomba
- f. Trabar las poleas de la distribución y bomba
- g. Retirar pernos de sujeción.
- h. Extraer la bomba de alta presión del vehículo.

Herramientas

- Llaves mixtas
- Kit de rachas y dados
- Destornilladores
- llave de sujeción especial



1. Bomba de alta presión

2. Rampa común de inyección
3. Inyector
4. Regulador de presión
5. Captador de presión

2. INSPECCIÓN VISUAL

- a. Colocar sobre la mesa de trabajo: determinar un espacio físico adecuado.
- b. Inspección visual integridad física válvula reguladora: revisar bornes de conexión, no debe existir rastros de corrosión, revisar integridad de cables, no deben existir puntos expuestos del conductor.
- c. Inspección visual superficie externa bomba de alta presión CP4: revisar la existencia de golpes, ralladuras, abolladuras o síntomas de descargaste o corrosión.
- d. Inspección visual de fugas: verificar la existencia filtraciones de líquidos a través de los empaques o juntas.
- e. Inspección visual de mangueras: verificar integridad de las mangueras de entrada y salida de combustible.

Herramienta: No aplica



Apariencia física Bomba de alta presión CP4

3. DESPIECE DE LAS PARTES

- a. Fijar la bomba sobre una base de soporte: se requiere fijar la bomba debido será necesario aplicar fuerza sobre las piezas mecánicas de sujeción (pernos, tonillos).
- b. Retirar piezas de sujeción: se debe utilizar la herramienta correspondiente para cada pieza específica (dados hexagonales, llaves tipo torx y allen).
- c. Enumerar y separar las piezas desmontadas: con el fin de no extraviar las piezas para su posterior ensamblaje.
- d. Colocar las piezas y accesorios en una bandeja contenedora.



1. Montaje sobre base soporte



2. Despiece de partes



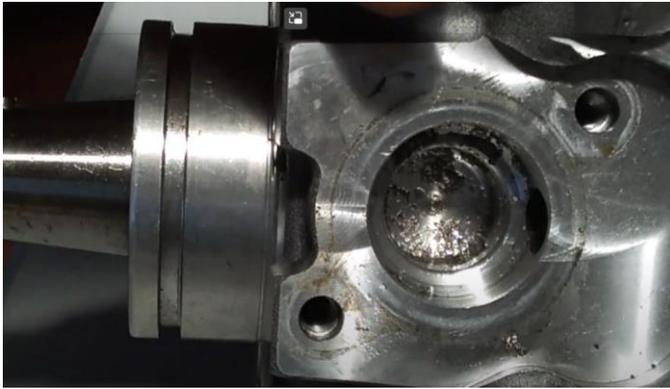
3. Colocar piezas en bandeja

4. INSPECCIÓN FÍSICA DE PIEZAS

- a. Verificar integridad del filtro de entrada: revisar que no exista rotura o fugas del combustible.
- b. Verificar la integridad física de juntas y retenes: se debe inspeccionar si no existe deterioro y roturas.
- c. Verificar integridad física de las piezas internas: piñón de la correa dentada, tuercas de fijación, brida de arrastre y émbolos, revisar que no exista desgaste en su superficie o presencia de residuos metálicos.
- d. Verificar integridad física de mangueras de entrada y salida de combustible, si presentan roturas, fugas o desgaste, se deben reemplazar.



Inspección visual piezas bomba



Residuos metálicos en el interior

5. LIMPIEZA

- a. Retirar el elemento filtrante y verificar si se encuentra en buen estado, de no ser el caso, debe ser remplazado.
- b. Colocar las piezas en la bandeja contenedora: incorporar desengrasante industrial para piezas mecánicas con suficiente cantidad para cubrirlas totalmente.
- c. Si la cantidad de impurezas es excesiva dejar reposar durante algunos minutos, máximo 10 minutos.
- d. Si aún persiste dichas impurezas utilizar un cepillo de cerdas sintéticas (aplicar fricción suave).
- e. Retirar las piezas del contenedor y colocar sobre una superficie limpia para su secado.



Limpieza con desengrasante

6. REVISIÓN DE ACCESORIOS

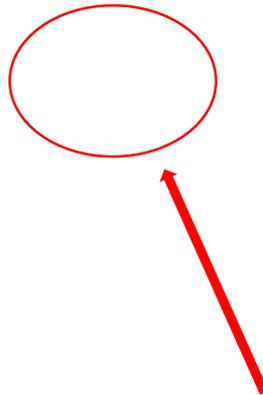
- a. Verificar integridad de las juntas y retenes: si durante la inspección visual se determina que ya no se encuentran en buen estado, estas deberán ser remplazadas.
- b. Verificar integridad de los pernos: si se observa daños tanto en la cabeza como en el labrado de la rosca, estos deben ser remplazados o en su defecto verificar si se encuentran aislados.
- c. Si el conector de la electroválvula presenta desgaste o los bornes se encuentran rotos o deteriorados es necesario realizar su remplazo.
- d. Si alguna de las piezas internas presenta rotura se debe determinar si es necesario remplazar o rectificar.



Filtro bomba de alta presión



Apariencia física Bomba de alta presión CP4



7. ARMADO DE LA BOMBA DE ALTA PRESIÓN

- a. Verificar las piezas: libres de impurezas y residuos de aceite, combustible, entre otros. De ser necesario realizar una limpieza adicional.
- b. Utilizar la base soporte para fijar la carcasa exterior de la bomba: verificar que se encuentre estable.
- c. Proceder al montaje de las piezas siguiendo el orden en la que fueron retiradas
- d. Colocar juntas y retenes
- e. Colocar pernos de sujeción
- f. Ajuste de pernos: utilizar herramienta especializada para determinar la cantidad de fuerza aplicada (torquímetro).
- g. Montaje de mangueras de combustible existentes o nuevas.
- h. Instalación filtro de combustible y electroválvula.

Herramientas

- Llaves mixtas
- Kit de rachas y dados
- Destornilladores



Armado de Bomba de alta presión CP4

Observaciones: Seguir el orden armado acorde a la guía.

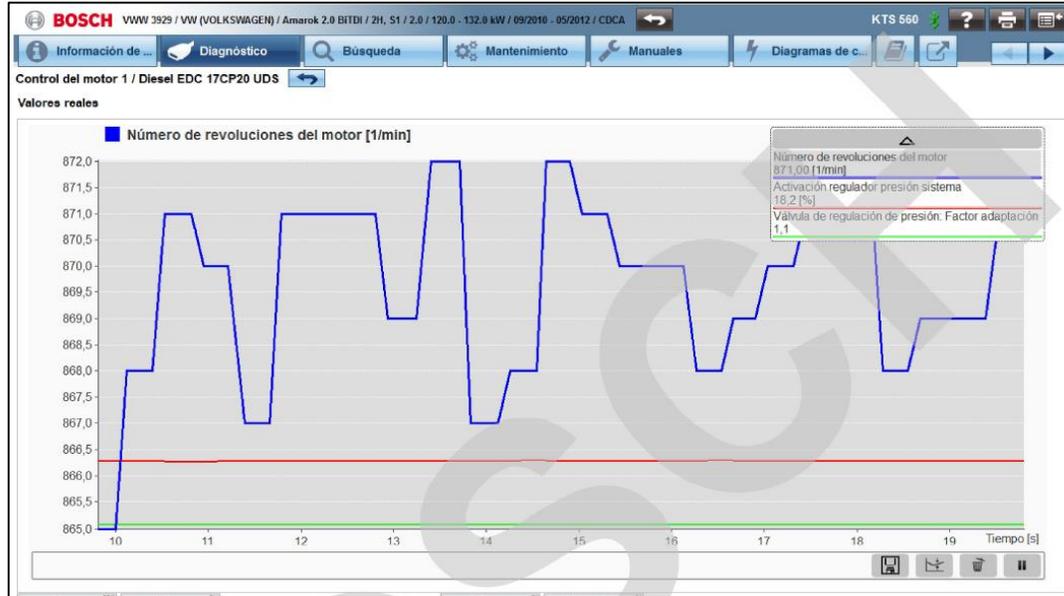
8. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

- a. Instalar la bomba en el módulo de prueba.
- b. Realizar las conexiones respectivas: alimentación de combustible y salida.
- c. Verificar la presión de entrada: 0 – 200 bar.
- d. Verificar caudal de la entrada: 0 – 200 mm³/h.
- e. Verificar control de señal PWM: 0 – 14 V
- f. Verificar presión de salida: 0 – 2000 bar.
- g. Verificar presión inyectores: 0 – 2000 bar.

h. Verificar caudal de inyectores: 0 – 2000 bar.



Montaje de bomba en módulo de pruebas



Pruebas y toma de datos

9. PUESTA EN MARCHA

- a. Montar la bomba en el vehículo: verificar que no exista obstrucciones en la base de montaje.
- b. Fijar la bomba mediante los pernos de sujeción: verificar que la presión aplicada sea la necesaria (utilizar torquímetro).
- c. Tomar en cuenta el tiempo de sincronizado de la bomba con el motor.
- d. Conexión de mangueras y tuberías: conectar entrada y salida de combustible.
- e. Conexión electroválvula.
- f. Conexión de accesorios adicionales.

- g. Revisar que no exista derrame ni fugas de combustible.
- h. Encender vehículo y verificar su correcto funcionamiento.



Montaje de bomba en el motor

10 Requerimientos extras

- a. Revisión y cambio de filtros de combustible y trampas de agua.
- b. Revisión y pruebas en inyectores piezoeléctricos (pruebas de retorno) valor nominal: 5 bar.
- c. Evaluación del estado de la banda dentada de distribución, identificar desgastes y de ser necesario realizar el cambio respectivo.
- d. Como parte del diagnóstico es necesario identificar el estado de las cañerías que vienen desde el tanque de combustible, si el vehículo no estaba en uso se recomienda realizar una limpieza del tanque.
- e. De acuerdo a la región territorial donde se desempeñe el vehículo se debe recomendar el uso adecuado de aditivos que reducirán el impacto de ciertos factores que presentan los combustibles actuales en nuestro país.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES

- Entre las mejoras que se pudieron evidenciar con los cambios realizados al sistema de inyección de combustible podemos mencionar el aumento en el par motor en un 20.09%. Mejorando el rendimiento y potencia del motor.
- La eficiencia en el consumo de combustible es otro de los factores de más realce que benefició al realizar el cambio de la bomba de inyección de alta presión teniendo un aumento del 9.2 en el rendimiento del combustible medido en l/h.
- La presión de combustible aumentó un 8.3% en relación al componente antiguo que estaba montado en el sistema, de esta forma mejoró el tiempo de respuesta al acelerar, así como eliminar vibraciones a ciertas revoluciones.
- En conjunto los cambios realizados, aportan a la mejora en general del motor, así como la reducción considerable de los niveles de opacidad

RECOMENDACIONES

- Los malos hábitos de conducción, así como un inadecuado mantenimiento preventivo pueden repercutir en la pérdida de potencia y desarrollo del motor con poco kilometraje es necesario realizarle una revisión periódica al estado del funcionamiento de la bomba de alta presión CP4.
- Realizar los cambios de filtros de combustible a tiempo y siempre utilizando los filtros que recomienda el fabricante permitirá que las impurezas del diésel no entren a la bomba e inyectores, manteniendo así un adecuado consumo de combustible por kilómetro recorrido.
- Realizar las pruebas o toma de datos de la bomba de inyección CP4 siempre y cuando el motor este caliente y la temperatura del vehículo sea la adecuada para poder obtener datos más exactos.
- Se recomienda que los puntos de referencia del engranaje de la bomba coincidan con los puntos de referencia de la polea del cigüeñal para que el trabajo de la bomba CP4 vaya acorde con el movimiento que viene desde el cigüeñal del vehículo.

Bibliografía

- Aishwarya, K. (2020). Design a New Pressure Regulating Valve for Fuel Injection Pump of Diesel Engine. *International Journal of Engineering Research And*, V9(09).
<https://doi.org/10.17577/IJERTV9IS090089>
- Augeri Fernando. (2017). *Sistemas Common Rail - Presión en el rail*.
<http://www.cise.com/portal/notas-tecnicas/item/356-sistemas-common-rail-presi%C3%B3n-en-el-rail.html>
- B Kyshchun, & L Borovytskyi. (2019, February 27). *Modern methods of high-pressure fuel pump common rail power system diagnostics*.
<https://explore.openaire.eu/search/publication?articleId=doajarticles::548afcac4d184588878af791f08ca047>
- Bartsch, C. (2018). *Revolución del motor Diesel: desarrollo de la inyección directa - Christian Bartsch - Google Libros. 2da Edición*.
https://books.google.com.ec/books?id=dBfdWjwq13gC&printsec=frontcover&dq=Sistema+de+inyecci%C3%B3n+common+rail+crdi&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwihj_HkwKr7AhU_mYQIHcFoDXkQ6AF6BAgCEAI#v=onepage&q&f=false
- BOSCH. (2019). Bosch Common Rail Fuel Injection System. *Versión 2.0*.
- BOSCH. (2022). *High-pressure pump CP4/CP4N*. Robert Bosch GmbH. <https://www.bosch-mobility-solutions.com/en/solutions/pumps/high-pressure-pump-cp4/>
- Botwinska, K., Mruk, R., & Krawiec, Ł. (2022). *Modelling of the work processes high-pressure pump of common rail diesel injection system*. 8–12. <https://doi.org/10.1051/2016>
- Castro, J. (2019). *Análisis comparativo del funcionamiento del inyector de un motor CRDI bajo diferentes alturas geográficas*. Universidad Internacional Del Ecuador.
https://redib.org/Record/oai_articulo2868257-an%C3%A1lisis-comparativo-del-

funcionamiento-del-inyector-de-un-motor-crđi-bajo-diferentes-alturas-
geogr%C3%A1ficas#

- Díaz, C., & Albo, A. (2019). *Mantenimiento mecánico preventivo del vehículo*. 17–25.
- Garcés, F., & Inca, J. (2016). *Diseño de un plan de mantenimiento preventivo para los vehículos de la cooperativa de Taxis Macaji*.
- Garrido, D. A., Víctor, Q., & Luzuriaga, H. Á. (2018). *Estudio de la Evolución de los CRDI (Common Rail Direct Injection) en Función del Combustible en Sudamérica*.
- Hartford Steam Boiler. (2018). *Mantenimiento de Motores Diesel*.
- Igumnov, A. L., Metrikin, S. V., & Nikiforova, V. I. (2017). The dynamics of eccentric vibration mechanism (Part 1). *Journal of Vibroengineering*, 19(7), 4854–4865. <https://doi.org/10.21595/jve.2017.18346>
- Jaaskelainen, H., & Majewski, A. (2016, March). *Diesel Engine Lubricants*. DieselNet © ECOpoint Inc. <https://dieselnet.com/tech/lube.php>
- Loza Lalangui Carlos Paul, Quishpe Reinoso Henry Stalyn, & Rubio Terán Juan Carlos. (2022). Análisis de las Normativas INEN de Ecuador. *Artículo de Investigación*, 4–7.
- Lu, Y., Zhao, C., Zuo, Z., Zhang, F., & Zhang, S. (2017). Research on the common rail pressure overshoot of Opposed-Piston Two-Stroke diesel engines. *Energies*, 10(4). <https://doi.org/10.3390/en10040571>
- NOBOA, S., & VARGAS, A. (2017). *INVESTIGACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO Y ELECTRÓNICO DE LOS INYECTORES MARCA DENSO*.
- Osipowicz, T. (2015). *Testing of Modern Fuel Injection Pumps* (Vol. 15, Issue 1).
- OSIPOWICZ, T., & ABRAMEK, K. (2017). Diagnosing methods common rail fuel injectors. *Combustion Engines*, 168(1), 56–61. <https://doi.org/10.19206/ce-2017-109>

- Pires Ferreira, B. E., Moreira, V. G., de Oliveira, A., Justino, M. A. M., Valente, O. S., & Hanriot, S. D. M. (2021). Circuit for driving common rail diesel injectors. *SAE Technical Papers*, 2021. <https://doi.org/10.4271/2020-36-0254>
- Romanov, V. A., & Khozeniuk, N. A. (2016). ScienceDirect Experience of the Diesel Engine Cooling System Simulation. *Procedia Engineering*, 150, 490–496. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.07.025>
- Samuel, A., & Guevara, S. (2018). *INVESTIGACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO Y ELECTRÓNICO DE LOS INYECTORES PIEZOELÉCTRICOS BOSCH DEL SISTEMA DE INYECCIÓN CRDI (COMMON RAIL DIESEL INJECTION) DE LOS VEHÍCULOS VOLKSWAGEN CRAFTER 2.5 TDI HYUNDAI VERACRUZ IX55 3.0*. 13.
- Santamaría, M., & Javier, J. (2019). *ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS MECÁNICOS Y ELECTRÓNICOS DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE ALTA PRESIÓN DEL CONJUNTO CRDI DEL MOTOR DIÉSEL KIA 2.0L TIPO D4EA*.
- Shinde, A. B., Umadi, O. A., Gawali, S. v, & Kamble, A. (2020). COMMON RAIL DIRECT INJECTION. *International Research Journal of Engineering and Technology*. www.irjet.net
- Sorlin, S. (2017). *EDUCATIONAL MODEL: COMMON RAIL DIESEL ENGINE*.
- Speddmaq, S. (2017). *BANCO DE PRUEBAS SM310E BOMBAS COMMON RAIL*.
- Tjahjono, A., Fonsula Andromeda, V., Wiwoho, B., & Afandi, S. (2019). An Analysis of the Effect of Plunger Barrel Performance of High Pressure Pumps and Fuel Against the Main Engine Injector Performance. *KnE Social Sciences*. <https://doi.org/10.18502/kss.v3i23.5133>
- Vass, S., & Zöldy, M. (2019). Detailed Model of a Common Rail Injector. *Acta Universitatis Sapientiae, Electrical and Mechanical Engineering*, 11(1), 22–33. <https://doi.org/10.2478/auseme-2019-0002>

Xu, L., Bai, X. S., Jia, M., Qian, Y., Qiao, X., & Lu, X. (2018). Experimental and modeling study of liquid fuel injection and combustion in diesel engines with a common rail injection system. *Applied Energy*, *230*, 287–304.
<https://doi.org/10.1016/J.APENERGY.2018.08.104>