



UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL ECUADOR

Powered by Arizona State University

**FACULTAD DE INGENIERÍAS APLICADAS Y
DESARROLLO INDUSTRIAL**

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**Análisis Comparativo de Presión de Apertura Entre
un Inyector Tipo Lápiz e Inyector-Bomba en el Banco de
Pruebas Autool**

Trabajo de Integración Curricular previo a la obtención del título de:

Ingeniero Automotriz

Autor: Berrones Jiménez William Andrés

Tutor: Ing. Adolfo Peña Pinargote, M.S.c.

GUAYAQUIL
2026

Aprobación del Tutor del Trabajo de Integración Curricular

Yo Adolfo Juan Peña Pinargote, en calidad de tutor del Trabajo de Integración Curricular denominado: Análisis Comparativo de Presión de Apertura Entre un Inyector Tipo Lápiz e Inyector-Bomba en el Banco de Pruebas Autool, realizado por Berrones Jiménez William Andrés ha sido orientado y revisado en todas sus partes y considero que cumple los requisitos establecidos por la institución. En virtud de ello doy mi aprobación a fin de continuar con el proceso académico correspondiente.

Adolfo Juan Peña Pinargote

Tutor del Trabajo de Integración Curricular

Declaración de autoría y cesión de derechos

Yo, Berrones Jiménez William Andrés declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido presentado anteriormente para ningún grado o calificación profesional y que se ha consultado la bibliografía detallada.

Cedo mis derechos de propiedad intelectual a la Universidad Internacional del Ecuador, para que sea publicado y divulgado en internet, según lo establecido en la Ley de Propiedad Intelectual, Reglamento y Leyes.

Autor: William Andrés Berrones Jiménez

C.I.: 0958372757

Dedicatoria

Dedico el presente Trabajo de Integración Curricular a Dios, por brindarme la fortaleza, sabiduría y perseverancia necesarias para culminar esta etapa de mi formación profesional. De manera especial, a mi familia, por su apoyo incondicional, motivación constante y sacrificio a lo largo de mi carrera universitaria. A mis padres, quienes han sido el pilar fundamental en mi vida y un ejemplo de esfuerzo y responsabilidad. Finalmente, dedico este trabajo a todas las personas que confiaron en mí y me impulsaron a seguir adelante en la carrera de Ingeniería Automotriz.

Agradecimientos

Agradezco a la Universidad Internacional del Ecuador por brindarme la formación académica necesaria y los recursos para el desarrollo de este proyecto. De manera especial, expreso mi gratitud al Ing. Adolfo Peña Pinargote, M.Sc., tutor del presente trabajo, por su orientación, paciencia y valiosos aportes técnicos durante el proceso investigativo. Asimismo, agradezco al taller automotriz Mundo Diésel por facilitar el espacio, los equipos y las herramientas necesarias para la realización de las pruebas experimentales en el banco de pruebas Autool. Finalmente, agradezco a mis compañeros y docentes que contribuyeron directa o indirectamente en mi formación profesional.

Índice General

Caratula.....	I
Aprobación del Tutor del Trabajo de Integración Curricular	II
Declaración de autoría y cesión de derechos.....	III
Dedicatoria	IV
Agradecimientos.....	V
Índice General.....	VI
Índice de Figuras	IX
Resumen.....	1
Abstract	2
Introducción	3
Capítulo I.....	4
Problema de la investigación.....	4
1.1. Tema de investigación	4
1.2. Planteamiento, formulación y sistematización del problema	4
1.2.1. Planteamiento del problema	4
1.2.2. Formulación del problema	5
1.3. Sistematización del problema.....	5
1.4. Objetivos de la investigación.....	5
1.4.1. Objetivo general.....	5
1.4.2. Objetivos específicos.....	6
1.5. Justificación e importancia de la investigación	6
1.5.1. Justificación teórica.....	6
1.5.2. Justificación metodológica	7
1.5.3. Justificación práctica.....	7
1.5.4. Delimitación temporal.....	7
1.5.5. Delimitación geográfica	8
1.5.6. Delimitación del contenido.....	8

1.6.	Alcance	8
	Capítulo II.....	10
	Marco de referencia.....	10
2.1.1.	<i>Sistema de alimentación diésel</i>	12
2.2.	Componentes del sistema de alimentación diésel.....	12
2.2.1.	<i>Depósito de combustible diésel</i>	13
2.2.2.	<i>Cañerías de baja de presión de combustible diésel</i>	14
2.2.3.	<i>Filtros de combustible diésel</i>	15
2.2.4.	<i>Dispositivo de purgado en filtros de combustible diésel</i>	18
2.2.5.	<i>Importancia del proceso de purgado</i>	19
2.2.6.	<i>Proceso de purgado en filtros de combustible diésel</i>	19
2.2.7.	<i>Bomba de alimentación del circuito de baja presión</i>	20
2.2.8.	<i>Bomba de alimentación del circuito de alta presión</i>	23
2.2.9.	<i>Bomba rotativa de alta presión de émbolo axial</i>	23
2.2.10.	<i>Funcionamiento de la bomba rotativa de alta presión de émbolo axial</i>	24
2.2.11.	<i>Bomba rotativa de alta presión de émbolo radial</i>	25
2.2.12.	<i>Inyectores mecánicos del circuito de alta presión</i>	25
2.2.13.	<i>Funcionamiento de inyectores mecánicos circuito de alta presión</i>	26
2.2.14.	<i>Componentes de los inyectores mecánicos del circuito de alta presión</i>	27
2.2.15.	<i>Tipos de inyectores mecánicos del circuito de alta presión</i>	29
2.7	Bomba - Inyector	36
2.8	Calibrador de inyectores diésel	37
	Capítulo III.....	40
	Metodología.....	40
3.1	Estudios implementados en la investigación realizada.....	41
3.2.1	<i>Investigación descriptiva</i>	41
3.2.2	<i>Investigación bibliográfica</i>	41
3.2.3	<i>Investigación de campo</i>	41

3.3	Descripción del proceso evaluativo	41
3.4	Análisis de la presión de apertura de los inyeco- res tipo lápiz	41
3.1	Tipos de Mantenimientos Automotrices	41
3.2	Tipos de Mantenimientos Automotrices	46
	Capítulo IV	47
	Análisis de Resultados	47
	Conclusiones	49
	Recomendaciones	50
	Bibliografía	51

Índice de Figuras

Figura 1 Esquema de funcionamiento del motor de combustión interna.....	10
Figura 2 Esquema de funcionamiento del motor de combustión interna.....	11
Figura 3 Depósito de combustible.....	14
Figura 4 Cañerías de baja de presión de combustible diésel.....	15
Figura 5 Esquema del filtro de combustible	16
Figura 6 Esquema de entrada y salida en el filtro de combustible	17
Figura 7 Membrana y pulsador de cebado en el filtro de combustible	18
Figura 8 Perilla de cebado de goma	19
Figura 9 Sección de la bomba de alimentación de combustible.....	21
Figura 10 Bomba de alimentación de simple efecto.....	22
Figura 11 Bomba de alimentación de doble efecto	23
Figura 12 Bomba rotativa de alta presión de émbolo axial	24
Figura 13 Bomba Rotativa de Alta Presión de Émbolo Radial	26
Figura 14 Inyector mecánico de alta presión de émbolo radial	27
Figura 15 Porta tobera del inyector mecánico.....	28
Figura 16 Tobera del inyector mecánico	28
Figura 17 Inyector de tetón	30
Figura 18 Inyector de tetón cónico y cilíndrico	30
Figura 19 Inyector de orificios	31
Figura 20 Fases de apertura del inyector de estrangulamiento	32
Figura 21 Fases de apertura del inyector de doble muelle	33
Figura 22 Inyección directa de combustible diésel.....	34
Figura 23 Inyección indirecta de combustible diésel.....	34
Figura 24 Inyector mecánico a diésel tipo lápiz	37
Figura 25 Bomba - Inyector.....	38
Figura 26 Probador de Inyectores Mecánicos Autoool.....	39
Figura 27 Inyector de tipo lápiz y bomba-inyector.....	40
Figura 28 Probador de Inyectores Mecánicos Autoool.....	42
Figura 29 Conexión del inyector tipo lápiz al probador de inyectores	42
Figura 30 Conexión del inyector tipo lápiz al probador de inyectores	43
Figura 31 Conexión inyector bomba-inyector el probador de inyectores	43
Figura 32 Base metálica de apoyo del inyector - bomba	44
Figura 33 Base metálica de apoyo del inyector - bomba	44
Figura 34 Presión de apertura del inyector - bomba	45
Figura 35 Presión de apertura del inyector tipo lápiz	47
Figura 36 Presión de apertura del inyector tipo lápiz	48

Resumen

En el presente proyecto se detalla el proceso para determinar la presión de apertura del inyector tipo lápiz y del inyector – bomba, ambos utilizados en sistema de inyección diésel de vehículos pesados, el inyector de tipo lápiz en camiones de mediana escala mientras el sistema bomba – inyector se lo utiliza con mayor frecuencia en maquinaria y equipo pesado tales como retro excavadora, pala cargadora, tractores agrícolas, y camiones de mayor escala, es importante determinar la presión de apertura de ambos sistemas debido la relación que hay de forma directa con todo el sistema de inyección diésel en general; puesto que si no están en los establecido por el fabricante no se lograra una pulverización adecuada del combustible y en algunos casos simplemente no se alcanzará la apertura de los mismos; cuando esto sucede se presentan problemas como exceso de consumo de combustible, generación de humo negro por la salida de escape, perdida de potencia y baja del rendimiento del motor, generando defectos en su funcionamiento; es por ello la relevancia de este proyecto para determinar de forma apropiada, eficaz y eficiente un método de diagnóstico de los inyectores antes mencionados.

Palabras Clave: Inyector, bomba, presión.

Abstract

This project details the procedure for determining the opening pressure of pencil-type injectors and unit injector-pump assemblies, both employed in diesel injection systems for heavy-duty vehicles. Pencil-type injectors are utilized in medium-scale trucks, whereas unit injector-pump systems are more frequently implemented in heavy machinery and equipment, such as backhoe loaders, wheel loaders, agricultural tractors, and larger-scale trucks. Determining the opening pressure of both systems is crucial due to its direct correlation with the overall diesel injection system performance. If the pressure values do not comply with manufacturer specifications, adequate fuel atomization will not be achieved, and in certain cases, injector opening will not occur at all. When this happens, operational issues arise, including excessive fuel consumption, black smoke emission through the exhaust outlet, power loss, and decreased engine performance, resulting in functional defects. Consequently, this project is significant for establishing an appropriate, effective, and efficient diagnostic method for the aforementioned injectors.

Keywords: Injector, pump, pressure.

Introducción

El presente proyecto contiene el desarrollo del análisis comparativo de presión de apertura entre un inyector tipo lápiz e inyector-bomba en el banco de pruebas Autool, donde se establece la metodología para alcanzar un análisis apropiado y determinar el estado de los inyectores, en el primer capítulo se estableció todo lo relacionado a la problemática de la investigación, la sistematización, contextualización, las hipótesis y los objetivos establecidos para el proyecto, para el segundo capítulo se desarrolla un seguimiento y estudio de la teoría relacionada a los sistemas de inyección diésel y los inyectores utilizados en los mismos, haciendo énfasis en los inyectores de tipo lápiz y el inyector – bomba, en el tercer capítulo se plasma el desarrollo de la metodología utilizada para realizar el análisis de la presión de apertura de los inyectores referentes al tema, se detalla los pasos a seguir para determinar el estado de los mismos, finalmente el cuarto capítulo se realiza el análisis de los resultados obtenidos, teniendo como resultados datos favorables para el tema desarrollado, es decir que los inyectores analizados si estuvieron dentro del rango de apertura establecido por el fabricante, con ello se establecieron las conclusiones y recomendaciones del caso.

Capítulo I

Problema de la investigación

1.1. Tema de investigación

Análisis comparativo de presión de apertura entre un inyector tipo lápiz e inyector-bomba en el banco de prueba Autool.

1.2. Planteamiento, formulación y sistematización del problema

En el estudio de los motores diésel, uno de los componentes más importantes para asegurar un buen rendimiento es el inyector. Este elemento es el responsable de introducir el combustible en la cámara de combustión en la cantidad, presión y momento adecuados para que la combustión sea eficiente. Sin embargo, dependiendo del tipo de inyector que se utilice, el comportamiento puede variar de forma significativa.

Dentro de los inyectores mecánicos más representativos se encuentran la bomba–inyector y el inyector de orificio tipo lápiz. El primero se caracteriza por integrar su propio sistema de bombeo y resorte de retorno, lo que lo hizo muy usado en motores de camiones y maquinaria pesada. Por otro lado, el inyector tipo lápiz, de diseño más sencillo, funciona únicamente como una válvula que abre gracias a la presión generada por la bomba inyectora, siendo más común en motores diésel livianos como los de Isuzu o Nissan.

1.2.1. Planteamiento del problema

A pesar de su importancia, existe escasa investigación que compare experimentalmente estos dos tipos de inyectores bajo condiciones controladas de laboratorio. Esto representa una limitación en la formación académica y técnica de futuros profesionales, quienes requieren información precisa y actualizada para realizar mantenimientos y calibraciones. Un aspecto fundamental en ambos inyectores es la presión de apertura, ya que determina el punto en el que la aguja levanta y permite la inyección del combustible cuando esta presión no corresponde al valor especificado, se generan problemas en la pulverización, lo que repercute.

En mayor consumo, presencia de humo negro, reducción de potencia e incluso daños en el motor, a pesar de la relevancia de este parámetro, he notado que no existen suficientes

trabajos experimentales que comparen directamente estos dos tipos de inyectores bajo las mismas condiciones de ensayo. Esta falta de información dificulta que estudiantes y técnicos comprendan de manera clara sus diferencias y las apliquen en labores de diagnóstico, mantenimiento o reparación.

Por esta razón, considero necesario realizar un análisis comparativo en banco de pruebas, con el fin de registrar y analizar las presiones de apertura de ambos inyectores. Este trabajo permitirá identificar sus diferencias prácticas y teóricas, y aportará una base de referencia útil tanto para la formación académica como para la práctica profesional en el área automotriz.

1.2.2. *Formulación del problema*

En este contexto, surge la pregunta: ¿Cuáles son las diferencias en el comportamiento de la presión de apertura entre un inyector tipo bomba–inyector y un inyector de orificio tipo lápiz, evaluados en un banco de pruebas de apertura?

1.3. *Sistematización del problema*

- ¿Qué presión de apertura presenta el inyector tipo bomba–inyector en condiciones de banco?
- ¿Qué presión de apertura se obtiene en el inyector tipo lápiz bajo el mismo procedimiento?
- ¿Qué diferencias se pueden identificar entre ambos inyectores al ser sometidos a la misma prueba?
- ¿De qué manera influyen estas diferencias en el rendimiento y el mantenimiento de los motores diésel?

1.4. *Objetivos de la investigación*

1.4.1. *Objetivo general*

- Comparar el desempeño de un inyector tipo lápiz y un inyector-bomba mediante pruebas de presión de apertura en el banco Autool modelo NTD 600.

1.4.2. Objetivos específicos

- Describir las características técnicas de los inyectores tipo lápiz y tipo bomba-inyector.
- Registrar la presión de apertura de cada inyector empleando el banco de pruebas Autool.
- Interpretar los resultados obtenidos para establecer conclusiones sobre el comportamiento de ambos inyectores.

1.5. Justificación e importancia de la investigación

El correcto funcionamiento de los motores diésel depende en gran medida del desempeño de los inyectores mecánicos, ya que estos son los encargados de suministrar el combustible en la cantidad y el momento preciso dentro de la cámara de combustión. Un inyector que funcione adecuadamente contribuye a optimizar el rendimiento del motor, reducir el consumo de combustible y disminuir las emisiones contaminantes. Por ello, analizar los inyectores mecánicos mediante pruebas de presión en un banco de medición permite conocer su comportamiento real y establecer recomendaciones técnicas que mejoren la eficiencia.

Este estudio se justifica en la necesidad de profundizar en el análisis de los inyectores mecánicos, ya que existe una limitada cantidad de investigaciones que evalúen su funcionamiento en condiciones controladas de laboratorio. La determinación precisa de la presión de apertura y de sus características operativas aportará información valiosa para mecánicos, técnicos y estudiantes, contribuyendo al fortalecimiento del conocimiento práctico y teórico en el ámbito de la inyección diésel.

1.5.1. Justificación teórica

La justificación teórica del proyecto análisis comparativo de presión de apertura entre un inyector tipo lápiz e inyector-bomba en el banco de pruebas autool radica en que los inyectores mecánicos controlan directamente la atomización y dosificación del combustible, lo que impacta la combustión y la potencia del motor, por ello se destaca lo siguiente:

- Relevancia de los inyectores mecánicos; estos componentes garantizan que el combustible llegue a la cámara de combustión en el momento adecuado y en la cantidad precisa, afectando la eficiencia energética y la vida útil del motor.
- Influencia en el desempeño; la variación en la presión de apertura o el desgaste de los inyectores puede generar pérdida de potencia, mayor consumo de combustible y emisiones contaminantes. Sin embargo, la información cuantitativa sobre su funcionamiento real sigue siendo limitada en el contexto de pruebas controladas de laboratorio.

1.5.2. Justificación metodológica

La metodología del proyecto permitirá medir de manera precisa la presión de apertura y el comportamiento de los inyectores mecánicos usando un banco de pruebas. A través de un análisis comparativo y técnico de los datos obtenidos, se podrá determinar la eficiencia y las características de desempeño de los inyectores. Esta metodología asegura resultados confiables y aplicables que servirán para mejorar la selección, mantenimiento y uso de inyectores mecánicos en motores diésel.

1.5.3. Justificación práctica

Este proyecto tiene un valor práctico importante, ya que la información obtenida permitirá a talleres y profesionales automotrices tomar decisiones informadas sobre el mantenimiento y reemplazo de inyectores mecánicos. Además, contribuye a optimizar el consumo de combustible, disminuir el desgaste de los motores y mejorar la eficiencia general del vehículo, fortaleciendo la industria local y el conocimiento técnico de quienes participan en el estudio.

1.5.4. Delimitación temporal

El desarrollo del proyecto se realizará durante un período de 6 meses, comenzando en octubre de 2025 y finalizando en febrero de 2026, de acuerdo con el calendario académico y la disponibilidad de recursos de laboratorio.

1.5.5. Delimitación geográfica

El estudio se llevará a cabo en la ciudad de Guayaquil, en un taller automotriz equipado con un banco de prueba de presión de apertura para inyectores mecánicos.

1.5.6. Delimitación del contenido

En el documento se desarrollan diferentes partes con la finalidad de un desarrollo que sea apropiado al tema investigado; en la primera parte se logra establecer el planteamiento, la formulación y la sistematización del problema, lo cual permite definir el objetivo general y los específicos; además se establecen las y contemplan todas las justificaciones desde las perspectivas teórica, práctica y metodológica, acompañadas de las delimitaciones propias del proyecto.

En la siguiente parte se presenta la revisión de literaria y con ello se logra el sustento del marco conceptual; también se establece y explican varios conceptos que son claves para el proyecto y las variables principales que se asocian con la implementación del proceso de análisis de inyectores mecánicos.

Finalmente se logra abordar de forma fehaciente la metodología investigativa aplicada, en esta parte se detalla los métodos diferentes que se aplican y se hace énfasis en el trabajo experimental por el cual se examina la actual problemática; también, se puntualizan diferentes estrategias para recolectar datos y muestras analizadas, esta información se complementa con la planificación presupuestaria y temporal establecida previamente.

1.6. Alcance

En la presente investigación se analiza el procedimiento para realizar el análisis comparativo de presión de apertura entre un inyector tipo lápiz e inyector-bomba en el banco de pruebas autotool; teniendo como objetivo principal el establecer una manera que sea efectiva para garantizar la apropiada y correcta aplicación del método, para ello se establece el equipo apropiado.

En lo relacionado al marco conceptual, se exploró diferentes formas de establecer un procedimiento para realizar el análisis de los inyectores mecánicos y de esta forma establecer la presión de apertura ideal para su correcto funcionamiento.

Por ello se establece como finalidad del proyecto el obtener una visión apropiada y clara que permita evaluar si los inyectores están trabajando de forma ideal y no presenten problemas, de esta forma se minimizaran los problemas en el sistema de inyección de los motores diésel.

Capítulo II

Marco de referencia

Para alcanzar el objetivo de garantizar el completo alcance del proyecto que se está presentando, se procede a poner en consideración algunas definiciones esenciales para esclarecer la definición y también aclarar de forma preliminar varios conceptos y definiciones que están directa o indirectamente relacionadas al tema, se lo hace de manera teórica y referencial con la ejecución de las tareas en cada sección, de esta forma se permite obtener una mirada panorámica y amplia de las temáticas abordadas.

2.1 Definición del motor de combustión interna

De acuerdo con lo descrito por (Gonzáles, 2011), al motor de combustión interna se lo puede definir como un elemento de carácter térmico que logra convertir la energía de tipo calorífica que está contenida en el combustible en energía mecánica o energía de movimiento y esto genera el trabajo que se transfiere hasta el sistema de transmisión de los vehículos y con ello se alcanza el desplazamiento, en la figura 1 puede apreciar de forma esquemática el procedimiento descrito.

Figura 1

Esquema de funcionamiento del motor de combustión interna



Fuente: (Gonzáles, 2011)

Es importante resaltar otras definiciones que se relacionan con el motor diésel para mejorar su entendimiento, por ello se detalla lo siguiente:

Al motor de combustión interna de tipo alternativo o conocido por sus siglas MCIA se lo puede definir como el motor en donde el trabajo y la transmisión de fuerzas se realizan debido al desplazamiento de tipo lineal y cíclico que se produce en el pistón; esta fuerza de

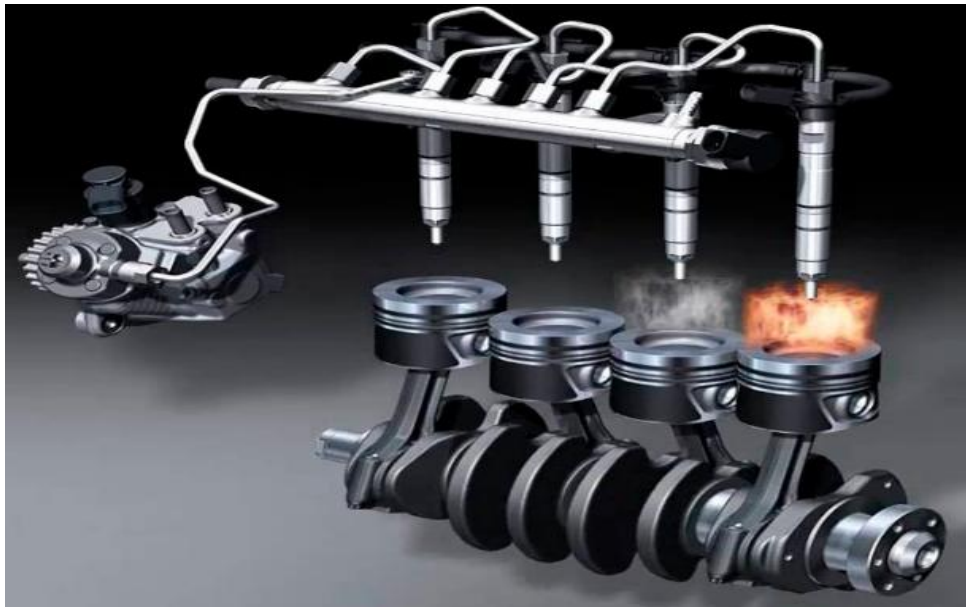
lineal que se produce por la presión de los gases que se producen en la combustión, este par giratorio se realiza por medio del mecanismo biela-manivela.

Para la definición del motor de gasolina o ciclo Otto se centra en comprimir la mezcla de aire y combustible, es decir se produce la combustión o explosión por una causa externa o el salto de una chispa que se produce por medio de la bujía y es llevada al interior del cilindro (Gonzáles, 2011).

En el funcionamiento del motor diésel se destaca que no se requiere un elemento externo como la bujía para que se produzca la combustión, en este caso se requiere comprimir el aire hasta alcanzar grandes presiones o temperaturas y en ese momento se produce la inyección del combustible el cual se inflama o se combustiona con el aire caliente, ver figura 2.

Figura 2

Esquema de funcionamiento del motor de combustión interna



Fuente: (HDI, 2024)

De forma importante se debe destacar varias definiciones relacionadas de forma directa con el motor de combustión interna alternativo diésel y se lo resalta de la siguiente forma:

- Motor de Combustión Interna Alternativo (MCIA): Motor de combustión interna en el que el ciclo de trabajo y la transmisión de fuerzas se produce mediante el desplazamiento lineal y repetitivo de un émbolo o pistón. La transformación de la fuerza lineal generada por la presión de los gases tras la combustión en un par motor giratorio se realiza a través de un mecanismo biela-manivela. Por otro lado, existen motores de combustión interna rotativos, como el motor Wankel.
- Motor de Encendido Provocado (MEP) o de ciclo Otto: Comprime una mezcla de aire y combustible, produciéndose la combustión por una causa externa, es decir, por el salto de chispa de la bujía.
- Motor de Encendido por Compresión (MEC) o de ciclo Diesel: Comprime aire hasta que este adquiere una gran presión y temperatura, momento en el cual se inyecta el combustible y se produce la combustión por autoinflamación de este (Motor.es, 2022).

2.1.1. Sistema de alimentación diésel

El sistema de alimentación diésel es el encargado de impulsar el combustible diésel desde el depósito hasta el interior del cilindro y está compuesto por dos fases, el sistema de baja presión y la alta presión, los mismos que se detallan a continuación:

- Sistema de baja presión; es el encargado de enviar el combustible desde el depósito que se encuentra almacenado a la bomba de inyección; y está compuesto por el depósito de combustible, bomba de alimentación o bomba primaria, filtros y cañerías de baja presión.
- Sistema de alta presión; es el encargado de impulsar el combustible a una presión determinada para ser introducido en las cámaras de combustión y está compuesto por bomba de inyección principal o bomba de alta presión, cañerías de alta presión y los inyectores (Almade, 2012).

2.2. Componentes del sistema de alimentación diésel

Se realizará la descripción de los principales componentes del sistema de alimentación diésel en sus dos fases el de baja y de alta presión:

2.2.1. Depósito de combustible diésel

De acuerdo con lo expresado por (Idoneo.es, 2024), el depósito o tanque de combustible es un contenedor fabricado con las características necesarias para poder almacenar de forma segura el diésel, el mismo que es utilizado por el motor para propulsar el vehículo, el mismo que se visualiza en la figura 3. Aunque pueden variar mucho dependiendo del fabricante y el modelo de coche al que se destine, los tanques de combustible de los coches convencionales suelen tener una capacidad de almacenamiento de entre 45 a 65 litros.

El depósito de combustible cumple más funciones además del simple almacenamiento. Ha de ser capaz de evitar riesgos y pérdidas de líquidos, medir el nivel de combustible que tiene y bombear y dirigir este hasta el motor. Para que sea capaz de cumplir todas sus funciones, y además contar con la seguridad necesaria para aguantar colisiones u otros accidentes, este elemento del coche se compone de varias partes, que son:

- Depósito principal; tanque que contiene el combustible. Sus características dependen del fabricante, pudiendo variar en forma, material y capacidad.
- Depósito de reserva; cuando el nivel de combustible restante llega a un porcentaje determinado, el depósito lanza una señal para alertar al conductor.
- Indicador del nivel de combustible; se trata de un sistema de medición del nivel de combustible. Ha evolucionado de la boya flotante que se usaba anteriormente, hasta los sistemas de sensores que podemos encontrar en la actualidad.
- Calentador de combustible; en algunos casos, sobre todo en sistemas de alimentación actuales los depósitos de combustibles diésel contienen en su interior un elemento que sirve de calefacción del combustible con el objetivo de tener una densidad y viscosidad, adecuada sobre todo en lugares donde la temperatura es baja, esto ayuda a que el combustible circule de forma adecuada y rápida, además es de mucha ayuda al momento de la atomización (Premium, 2024).

Figura 3*Depósito de combustible*

Fuente: (Premium, 2024)

2.2.2. Cañerías de baja de presión de combustible diésel

Son parte del sistema de baja presión de la inyección diésel, se encargan de transportar el combustible que se encuentra en el depósito hasta la bomba inyectora o la bomba de alta presión, también sirven como elementos de retorno del sistema de inyección que va desde el filtro, el regulador de presión, de la bomba de alta presión e incluso del retorno de los inyectores, generalmente pueden estar construidas por tramos rígidos o flexibles que pueden ser de latón, PVC o incluso caucho en los tramos elásticos, cuentan con un revestimiento especial para evitar que el combustible no lo degrade, como se muestra en la figura 4, así como un trenzado de nylon o alambre, para dotarlos de robustez (Pérez, 2023).

En los extremos disponen de terminales engarzados con forma cilíndrica, en cuyas caras se disponen juntas de aluminio o cobre, para así dotar de estanqueidad a la conexión.

Los manguitos de retorno, dada su menor presión de trabajo, están constituidos en sus primeros tramos por tuberías plásticas, encajadas a presión en los terminales de

los inyectores, con la excepción de los sistemas de conducto común, en los que el retorno está presurizado.

Cuando se unifican todos los retornos en un solo conducto, por el que el combustible vuelve hacia el depósito, la disposición es similar a la de los conductos de alimentación, disponiendo de tramos flexibles y rígidos.

Figura 4

Cañerías de baja de presión de combustible diésel



Fuente: (Implementos, 2023)

2.2.3. Filtros de combustible diésel

Tiene como función principal proteger el sistema de inyección en los vehículos diésel, los filtros diésel eliminan las impurezas presentes en el combustible que pueden proceder de diferentes fuentes, (FRAM, 2023):

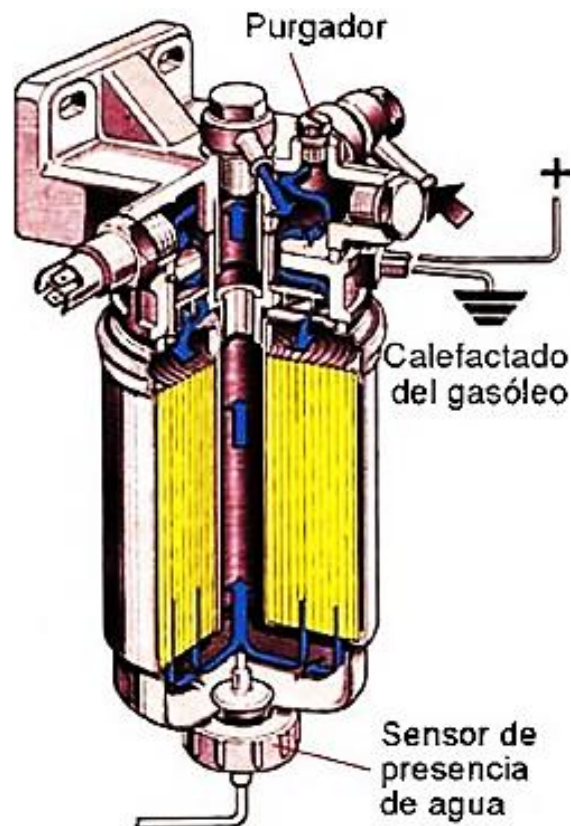
- Contaminación durante la producción, el transporte, el almacenamiento, las reparaciones, entre otros.
- Entrada de las partículas a través del sistema de ventilación del depósito de combustible.
- Contaminación con las impurezas y la oxidación presentes en el depósito o en los conductos de combustible.
- Condensación de agua en el depósito de combustible debido a las variaciones de temperatura.

Estos contaminantes pueden obstruir los sistemas de inyección, provocando que el motor no funcione bien y se dañe; los módulos de filtración diésel desempeñan también otras

funciones según los requerimientos específicos de cada aplicación: calentamiento de combustible, regulación de la presión, cebado, detección del nivel del agua, entre otras funciones, el esquema del filtro se lo puede apreciar en la figura 5.

Figura 5

Esquema del filtro de combustible



Fuente: (Pérez, 2023).

Las impurezas que deben ser retenidas están en alrededor de las 0,015 mm que se pueden producir por efecto de desgaste de los componentes internos de los sistemas de inyección, pero sobre todo por las impurezas presentes en la calidad del combustible, por eso es de suma importancia el mantenimiento adecuado; en el mismo dispositivo se efectúa la decantación del agua, al situarse ésta en la parte inferior, dada su mayor densidad, para su drenaje se dispone de un tapón de vaciado en la parte inferior.

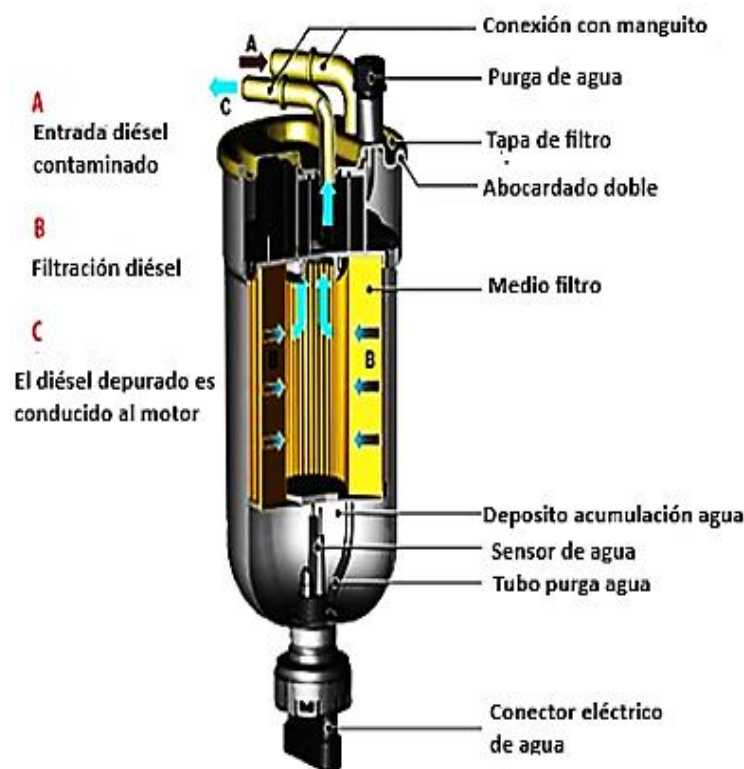
La importancia del filtro de combustible es vital para garantizar el correcto funcionamiento del motor, esto se debe a que los sistemas de inyección modernos

poseen unos inyectores con unos pequeños orificios de salida de combustible a alta presión, por lo que cualquier minúsculo residuo puede atascarlos y el motor no funcionaría correctamente (FRAM, 2023).

Si queremos alargar la vida útil del motor uno de los elementos más importantes es el filtro de combustible, el descuidar su cambio puede acarrear desde leves averías hasta roturas totales del motor, es la única barrera junto con el filtro de aire y aceite para evitar que entre suciedad al circuito de alimentación, inyección y bomba de combustible, si entran residuos a cualquiera de estos sistemas la suciedad ya estará presente en todo el motor ya que como si de combustible se tratase la suciedad se pulverizará mediante la inyección por todos los elementos del motor, además como ya hemos comentado la inyección podría obstruirse, la entrada es por el lado A, luego realiza la filtración de combustible en la posición B y sale por el lado C ya filtrado el combustible, ver figura 6.

Figura 6

Esquema de entrada, filtración y salida en el filtro de combustible



Fuente: (Pérez, 2023).

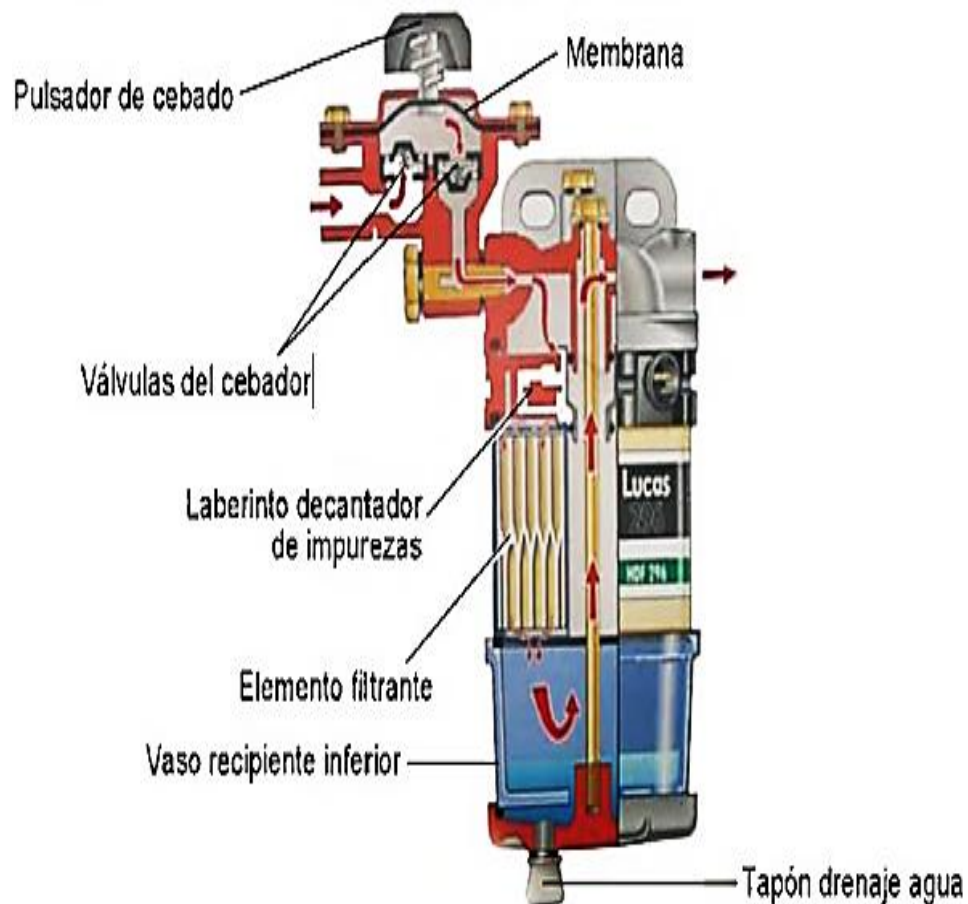
2.2.4. **Dispositivo de purgado en filtros de combustible diésel**

El objetivo principal de este proceso es eliminar posibles burbujas de aire que se forman durante las operaciones de mantenimiento, en el momento de una mala conexión de una cañería e incluso cuando el depósito de combustible se queda vacío o por debajo del límite de aspiración del sistema.

En los sistemas mecánicos, dado que suelen carecer de bomba de alimentación, al ser succionado el combustible desde el depósito por la propia bomba inyectora, el dispositivo de purgado se dispone integrado en el circuito de baja presión que comunica el depósito con la bomba inyectora. Puede estar formado por una membrana (accionada por un pulsador), figura 7 situada en la parte superior del soporte del filtro, o por una perilla de goma, figura 8, intercalada en serie en la tubería de baja presión que va desde el filtro a la bomba inyectora.

Figura 7

Membrana y pulsador de cebado en el filtro de combustible



Fuente: (Pérez, 2023).

2.2.5. Importancia del proceso de purgado

Por medio de este proceso se intenta controlar o eliminar cualquier formación de aire que exista en el interior del sistema que se pudiera presentar luego de cualquier intervención en el circuito, consiste en eliminar las burbujas de aire que hubieran podido depositarse en cualquier canalización del circuito, el proceso presenta ciertas diferencias, en función del tipo de bomba, pero a continuación se lo describe de forma generalizada:

Figura 8

Perilla de cebado de goma



Fuente: (Pérez, 2023).

2.2.6. Proceso de purgado en filtros de combustible diésel

Por medio de este proceso se intenta controlar o eliminar cualquier formación de aire que exista en el interior del sistema que se pudiera presentar luego de cualquier intervención en el circuito, consiste en eliminar las burbujas de aire que hubieran podido depositarse en cualquier canalización del circuito, el proceso presenta ciertas diferencias, en función del tipo de bomba, pero a continuación se lo describe de forma generalizada:

- Primero se procederá a extraer el aire en la canalización de llegada de combustible y al filtro, para ello, se accionará repetidamente el cebador, y se abrirá el purgador situado en la parte superior del filtro, en caso de no tenerlo se procederá a aflojar el

racor de la canalización. Esta fase finaliza cuando deja de salir aire y únicamente sale combustible.

- Luego de haber purgado el filtro, se procede a la extracción del aire contenido en la bomba inyectora, en este caso se abrirá el purgador situado en la misma, si el sistema posee bomba rotativa se debe considerar que disponen de un orificio interno para el calibrado y por el que se efectúa el purgado; en ocasiones, conviene aflojar las canalizaciones de alta presión, en el lado inyector, para que salga el aire contenido en las mismas; cuando esto se lleva a cabo, ha de girarse el motor un par de vueltas a mano, para que el gasóleo llegue a todos los inyectores, una vez se observe que sale solo combustible, se apretarán los racores al par prescrito.
- En el caso de las bombas lineales, el proceso de cebado se vuelve más complejo, ya que exige el purgado individual de las tuberías de alta presión. Además, ha de purgarse después del filtro, el propio bombín de alimentación. Si el motor sigue sin arrancar, habrá de fraccionarse aún más el proceso, aflojando previamente los racores de salida hacia las tuberías de alta presión.
- En cualquier caso, también puede recurrirse al auxilio del motor de arranque, haciendo girar el motor mientras se mantienen abiertos los purgadores y las tuberías aflojadas.
- Para verificar la ausencia de fugas y tomas de aire, se intercalará un manómetro en los diferentes tramos del circuito. Con ayuda del dispositivo de cebado, se presurizará el circuito (a motor parado) y se observará que la presión no decaiga durante un tiempo prudencial (FRAM, 2023).

2.2.7. Bomba de alimentación del circuito de baja presión

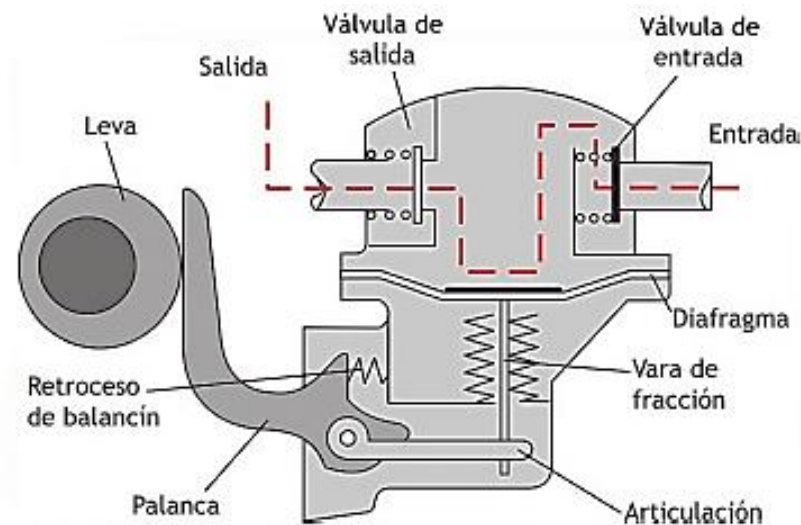
Este tipo de bomba es la encargada de aspirar e impulsar el combustible desde el depósito a la cámara de admisión de la bomba de alta presión, pasando por el filtro y las válvulas de retención de presión, llega a generar una presión de 1 ó 2 bares aproximadamente, si existiera un excedente de combustible es aprovechado para alcanzar la refrigeración y la lubricación interna de los elementos mecánicos de la

bomba de inyección, por lo general estas bombas son de accionamiento mecánico, y pueden ser de diafragma o de émbolo, (Pérez, 2023).

- Bomba de alimentación de diafragma; también son denominadas bombas de membrana. Son parecidas a las bombas de los motores de gasolina. Pueden ir acopladas a la bomba de inyección o al bloque motor. En este último caso recibe movimiento y es accionada por la excéntrica del árbol de levas del motor, el combustible es aspirado por medio del diafragma elástico del depósito y es enviado a la bomba de inyección, figura 9, también disponen de una palanca manual de purgado.

Figura 9

Sección de la bomba de alimentación de combustible



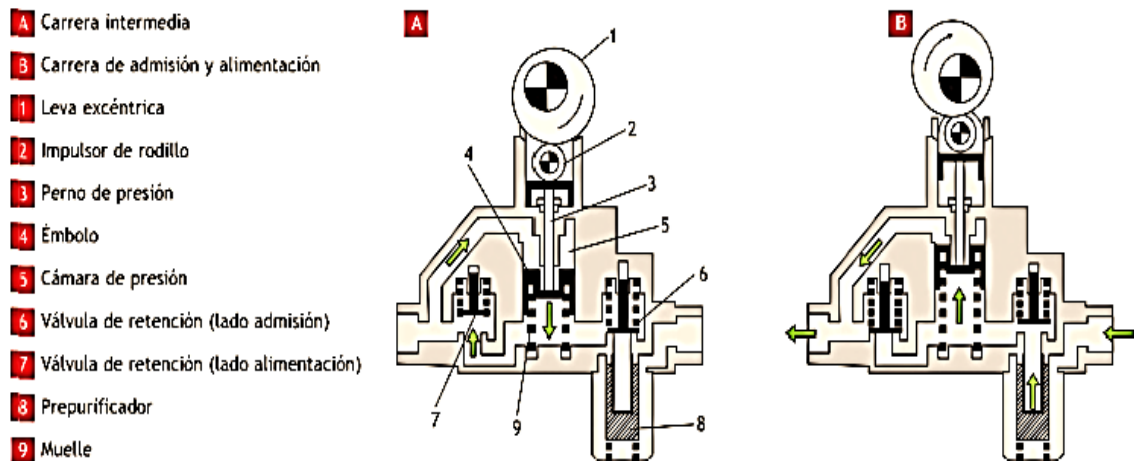
Fuente: (Sánchez, 2018)

- Bomba de alimentación de émbolo; generalmente se encuentra fija a la bomba de inyección principal. Su accionamiento se realiza por medio de una excéntrica situada en el árbol de levas de la bomba de inyección, la bomba puede llevar incorporado un cebador o bomba manual que sirve para llenar y purgar el lado de admisión del sistema de inyección para la puesta en servicio o una vez que se han realizado operaciones de mantenimiento, existen dos tipos de bombas de alimentación de simple efecto y las de doble efecto.

- Bomba de alimentación de simple efecto: Se conforma por dos cámaras; la primera cámara es de aspiración y otra de presión, se encuentran separadas por un émbolo móvil que es empujado por una leva excéntrica por medio de un impulsor de rodillo y un perno de presión, en la carrera intermedia, el combustible se introduce en la cámara de presión por medio de una válvula de retención que está instalada en el lado de la alimentación, luego que se ha cumplido la carrera de intermedia se produce la carrera de admisión y alimentación, figura 10.

Figura 10

Bomba de alimentación de simple efecto



Fuente: (Sánchez, 2018)

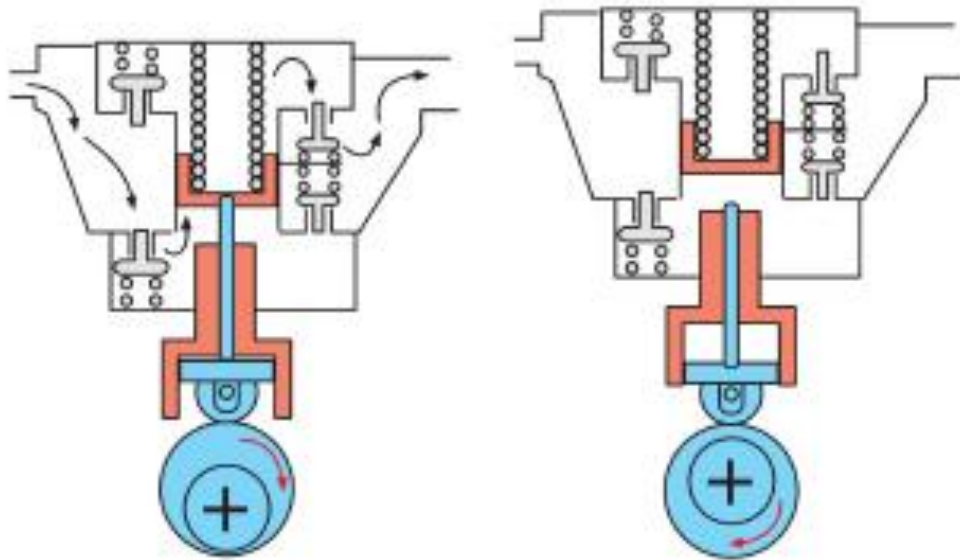
Si la presión en la tubería de alimentación sobrepasa un determinado valor, la fuerza del muelle del émbolo deja de ser suficiente para que se realice una carrera de trabajo completa, con esto se reduce el caudal de alimentación, pudiendo llegar a hacerse cero si la presión sigue aumentando, de esta forma la bomba de alimentación protege el filtro de combustible contra presiones excesivas.

- Bomba de alimentación de doble efecto: Posee dos válvulas de retención adicionales que convierten la cámara de admisión y la cámara de presión de la bomba de alimentación de simple efecto en una cámara de admisión y de presión combinadas, es decir, hace la admisión y la alimentación al mismo tiempo; no realiza carrera intermedia a diferencia de bomba de simple efecto, en cada carrera de la bomba de alimentación de doble efecto, el combustible es aspirado a una cámara, siendo

impulsado simultáneamente desde la otra cámara hacia la bomba de inyección; por lo tanto, cada carrera es al mismo tiempo de alimentación y de admisión, al contrario de lo que ocurre en la bomba de simple efecto, el caudal de alimentación nunca puede hacerse cero, (Pérez, 2011) figura 11.

Figura 11

Bomba de alimentación de doble efecto



Fuente: (Sánchez, 2018)

2.2.8. Bomba de alimentación del circuito de alta presión

En los sistemas de inyección diésel mecánicos podemos encontrar dos tipos de bombas que son muy comunes las bombas rotativas que se dividen en las de tipo axial y las de tipo radial, además son muy comunes las bombas de tipo lineal, para un mejor entendimiento analizaremos cada una de ellas de forma independiente.

2.2.9. Bomba rotativa de alta presión de émbolo axial

Es una bomba de alta presión perteneciente a la marca Bosch, y de acuerdo con (Pérez, 2023), este tipo de bombas se caracterizan por disponer de un único émbolo de bombeo que es concéntrico al eje de rotación de la bomba y posee un desplazamiento axial, además posee un exacto control en la dosificación y el avance a la inyección.

En otra definición (Sánchez, 2018), severa que estas bombas generan la presión de trabajo en todos los cilindros por medio de un movimiento de forma longitudinal de un pistón,

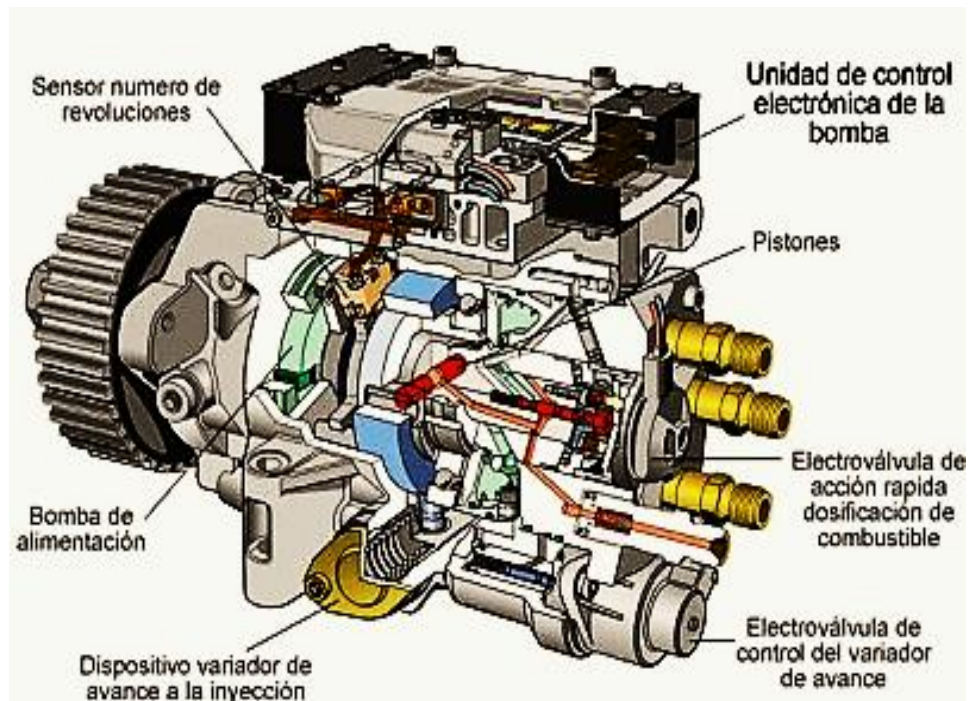
el mismo que es el encargado de proveer la cantidad exacta de combustible a cada cilindro y esto se realiza por un movimiento giratorio.

2.2.10. Funcionamiento de la bomba rotativa de alta presión de émbolo axial

Para la aspiración de combustible utiliza una bomba de paletas, la misma que aspira el combustible del depósito y se introduce en el interior de la cámara de la bomba rotativa de alta presión, el émbolo debe realizar igual número de carrera a cuantos cilindros posea el motor y de esta forma abastecer de combustible a todos y cada uno de ellos rápidamente, además; una corredera de regulación determinará el flujo y dosificará el caudal de inyección adecuado de carburante, figura 12. Este tipo de bombas utilizan un único distribuidor giratorio que comunica alternativamente la cámara de compresión con la aspiración y la salida del combustible, (autolab, 2022).

Figura 12

Bomba rotativa de alta presión de émbolo axial



Fuente: (autolab, 2022)

Al momento de regular la cantidad de combustible utiliza una leva de disco que se desplaza alternativamente el propio distribuidor y en otros mueve los pistones, de la misma manera la carrera de retorno del elemento de bombeo en el primer caso es por medio de un

muelle y en el segundo es la presión de alimentación la que determina el retorno de los émbolos opuestos.

Para que un motor tenga el mejor rendimiento, se necesita que los sistemas de inyección trabajen con mucha precisión, ya que se requiere que la presión llegue a cada cilindro, y la entrada del carburante se realice en el momento exacto, los posibles síntomas que indican que mi bomba rotativa está fallando podrían ser los siguientes:

- El motor simplemente no enciende
- Salida de humo negro al intentar arrancar el vehículo
- El motor si arranca, pero posteriormente se apaga
- El motor no tiene la potencia suficiente
- Consumo irregular y excesivo de combustible

2.2.11. Bomba rotativa de alta presión de émbolo radial

Este tipo de bomba se caracteriza por tener émbolos radiales para generar la presión, adecuada de funcionamiento, podemos encontrar bombas de dos o cuatro pistones radiales que generalmente se accionan por un anillo de levas, poseen una leva electroválvula de alta presión que sirve para dosificar el caudal de la inyección.

El inicio del momento de la inyección se regula mediante el giro del anillo de levas, con el variador de avance, de la misma forma que la bomba de émbolo axial es controlada por una electroválvula, todas las señales de control y regulación se procesan en dos unidades de control electrónicas ECU (unidad de control de bomba y unidad de control de motor). Mediante la activación apropiada del elemento actuador se regula el número de revoluciones, ver figura 13.

2.2.12. Inyectores mecánicos del circuito de alta presión

El inyector mecánico diésel es un componente del sistema de inyección de combustible que tiene como misión pulverizar el combustible de forma homogénea en el momento adecuado, también debe hacerlo de tal forma que la cantidad de combustible sea la indicada, y la misma se introduce hacia la cámara de combustión, allí se mezcla con el aire

que se encuentra a elevadas temperaturas y de al realizarse la mezcla se produce la combustión y se genera el trabajo necesario para realizar el movimiento del motor, (LOCITE.TEROSON, 2023).

Según (Pérez, 2023), por medio de los inyectores se inyecta el combustible en la cámara de combustión y en función de su tarado, determinan la presión inicial de la inyección, que coincide con la de apertura de estos.

Figura 13

Bomba Rotativa de Alta Presión de Émbolo Radial



Fuente: (conservatucoche, 2023)

Básicamente, están formados por una aguja que tapona el orificio de salida de combustible hacia la cámara de combustión, debido a la fuerza que ejerce sobre ella un muelle antagonista, de cuyo tarado depende la presión de apertura del inyector.

2.2.13. Funcionamiento de los inyectores mecánicos del circuito de alta presión

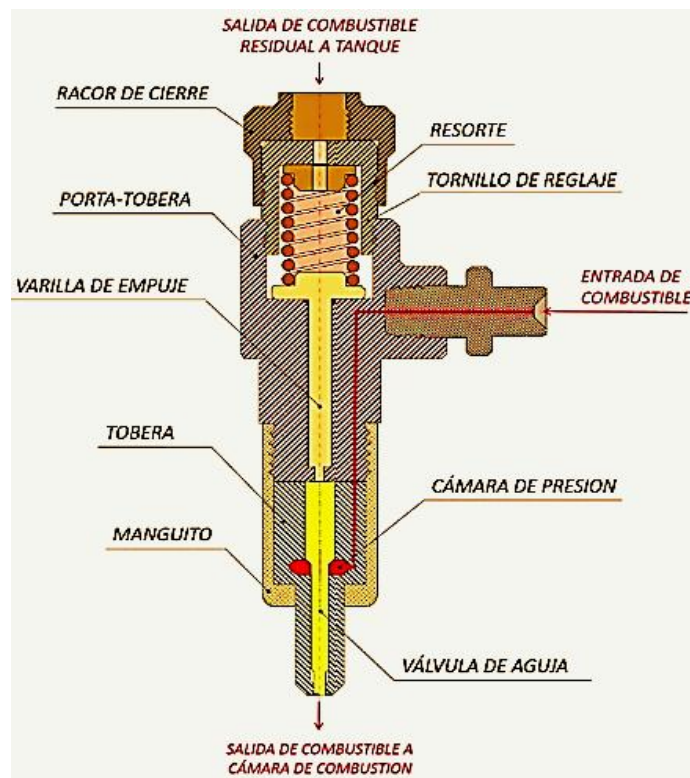
El funcionamiento del se produce cuando la bomba de principal envía el combustible por medio de las cañerías de alta presión y este ingresa al interior del inyector en los conductos de alimentación, generando una presión superior a la que posee el resorte, esta acción provoca que se produzca un desplazamiento de la aguja hacia arriba y esto genera

que se produzca la pulverización del combustible, esta se produce debido al diferencial de presión que se produce en el interior del inyector, ver figura 14.

Los inyectores mecánicos poseen un elemento de calibración o reglaje que nos ayudan a dar la medida exacta del desplazamiento de la aguja en su interior y con ello lograr la atomización adecuada del combustible.

Figura 14

Inyector mecánico de alta presión de émbolo radial



Fuente: (LOCITE.TEROSON, 2023).

2.2.14. Componentes de los inyectores mecánicos del circuito de alta presión

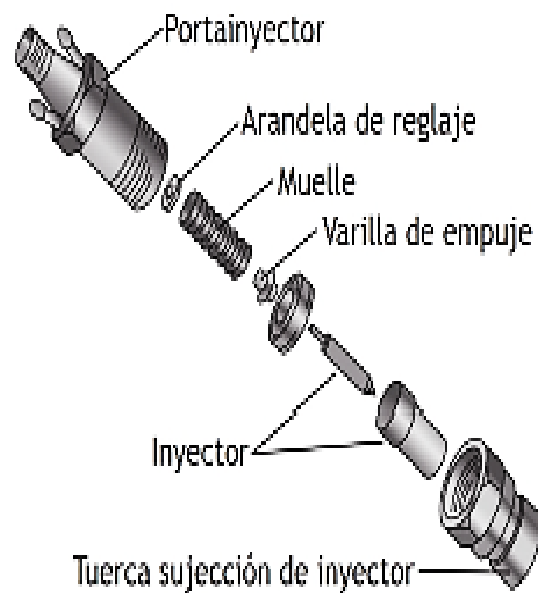
Los inyectores mecánicos diésel están conformados por varios elementos que a continuación se detallan, (LOCITE.TEROSON, 2023).

- Porta-tobera: Es un elemento o bloque de acero que funciona como estructura de guiado para el montaje de la aguja y el resto de los componentes, ver figura 15, por medio de este bloque, ingresa el combustible hacia la cámara de presión del inyector, también sirve como aislante de la cámara de combustión, establece la comunicación con las tuberías de combustible.

- Tobera (o inyector): Es una pieza fijada a la porta-tobera mediante un manguito roscado. En su interior se monta la válvula de aguja; esta permite formar una cámara de presión estanca, ya que la punta de esta tapona los orificios de salida del inyector, ver figura 16.

Figura 15

Porta tobera del inyector mecánico



Fuente: (Sánchez, 2018)

Figura 16

Tobera del inyector mecánico



Fuente: (Sánchez, 2018)

- **Válvula de aguja:** Es un pistón que actúa como compuerta de inyección. En estado de reposo, la válvula cierra el paso de combustible.
- **Resorte:** Hace referencia al muelle cuya fuerza en reposo permite el cierre estanco de la válvula contra el orificio de salida del inyector. El aumento de la presión del combustible recae sobre la solapa cónica de la válvula y la levanta, venciendo la fuerza del resorte. En este momento, el combustible se inyecta a través de los orificios del inyector hacia la cámara de combustión del cilindro. Una vez finalizada la inyección, el resorte vuelve a empujar la válvula de aguja contra el asiento de estanqueidad.
- **Varilla de empuje:** Se refiere al vástago que comunica el movimiento entre la válvula de aguja y el resorte.
- **Tornillo de reglaje:** Es un tornillo que permite ajustar la presión de inyección del combustible.
- **Racor de cierre:** Sirve como elemento de filtración de pequeñas dosis de combustible entre la válvula de aguja y la porta-tobera. De este modo se consigue lubricar el resto de los elementos del inyector. El racor de cierre hermetiza el conjunto del inyector y permite la vuelta del combustible residual al tanque.

2.2.15. Tipos de inyectores mecánicos del circuito de alta presión

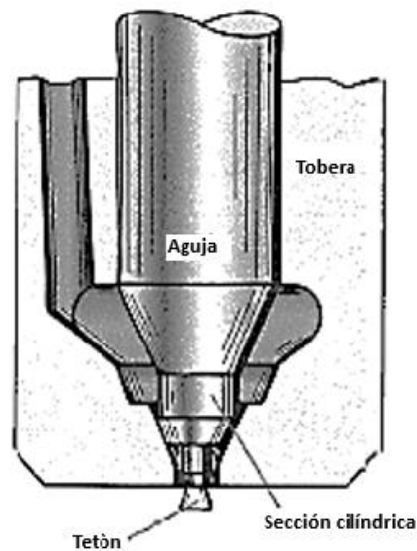
Para describir los tipos de inyectores tomaremos en cuenta la disposición y la forma de la tobera y se tiene los siguientes tipos de inyectores:

- **Inyectores de tetón:** Este tipo de inyectores poseen en la punta de la aguja un resalte, que se lo conoce como tetón, esta forma ayuda a proporcionar un chorro único que trata de ser lo más cónica posible, y por lo general posee un único orificio de salida, cuyo diámetro que esta entre 1 y 3 mm, ver figura 17. La forma del chorro se adapta a las particularidades o necesidades de los motores de inyección indirecta, puesto que permite atravesar la precámara. Por tanto, se utiliza en motores con cámara de turbulencia o precámara de combustión, existen variantes, en cuanto a la forma del

tetón, para así adaptar la geometría del chorro a las particularidades de cada motor, pudiendo abarcar una forma más o menos cilíndrica, hasta llegar a poseer una gran conicidad, hay inyectores de tetón que poseen diferentes formas del chorro, ver figura 18.

Figura 17

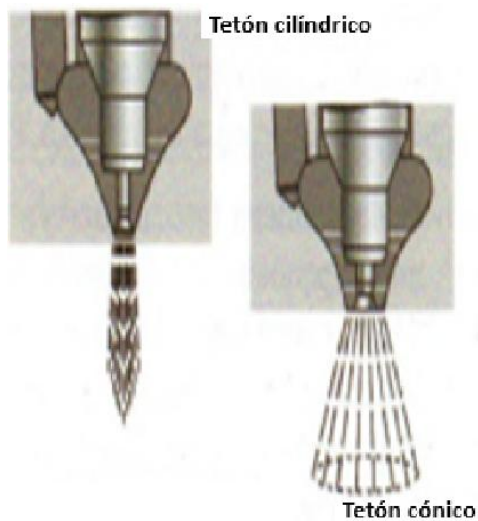
Inyector de tetón



Fuente: (Pérez, 2018)

Figura 18

Inyector de tetón cónico y cilíndrico

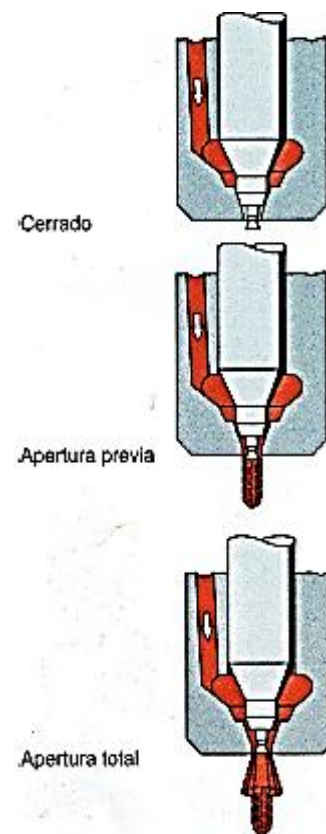


Fuente: (Pérez, 2018)

- **Inyectores de Orificios:** Este tipo de inyectores posee una tobera que dispone de varios orificios que varían en su número y disposición en función del motor que los utilice, al momento de inyectar el combustible sale muy disperso, a lo que contribuye también el pequeño tamaño de los orificios, de incluso 0,02 mm, estos inyectores se emplean en motores de inyección directa, en los que el aporte de combustible se efectúa directamente sobre la cabeza del pistón, en la cavidad dispuesta sobre el mismo, (Pérez, 2018) ver figura 19.

Figura 19

Inyector de orificios



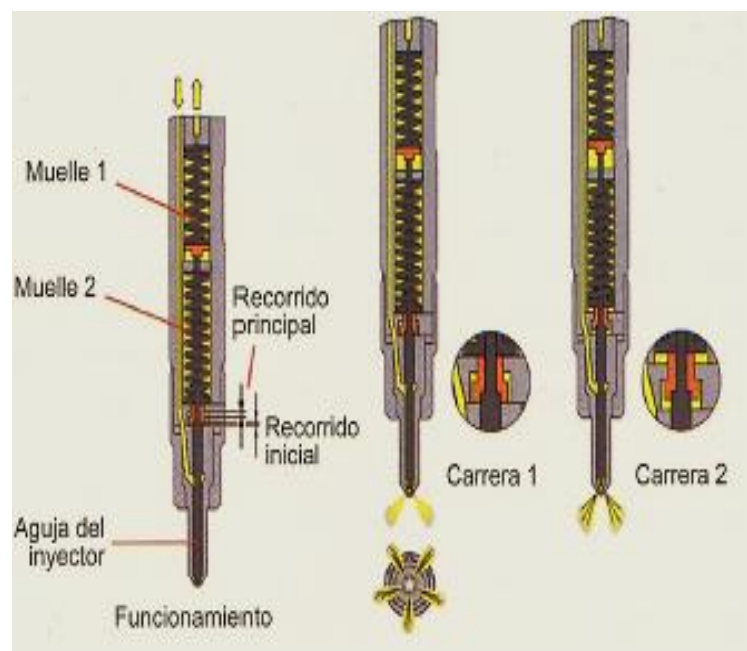
Fuente: (Pérez, 2018)

- **Inyectores con Estrangulamiento:** Posee tres fases y son una variante de los inyectores de tetón, en la zona anterior al extremo de la aguja, ver figura 20, dispone un rebaje con forma anular, esto hace que en la primera fase de la apertura, el caudal de salida sea muy reducido esto se lo conoce como fase de apertura previa; el combustible sale por dicho rebaje, pero vuelve a encontrarse con una restricción en

el extremo de la aguja, en la que recupera su diámetro norma, esto hace que se limite el caudal al comienzo de la inyección, consiguiendo una combustión más suave y más eficiente, el gasóleo introducido al principio incrementa la presión y la temperatura en la cámara favoreciendo la combustión del gasóleo que entra al interior de la cámara. A medida que la aguja asciende, la sección del orificio de la tobera se incrementa, permitiendo que el flujo alcance su caudal normal.

Figura 20

Fases de apertura del inyector de estrangulamiento



Fuente: (Pérez, 2018)

- **Inyectores de doble muelle:** Estos inyectores son empleados en motores de inyección directa y que poseen bomba inyectora de alta presión con control electrónico, debido a pueden disminuir los valores máximos de presión y con esta se alcanza una combustión más suave, sin embargo es un inyector meramente mecánico, posee un segundo muelle por encima del principal, que posee menos presión que el principal, el mismo permite que la inyección se realice en dos fases:

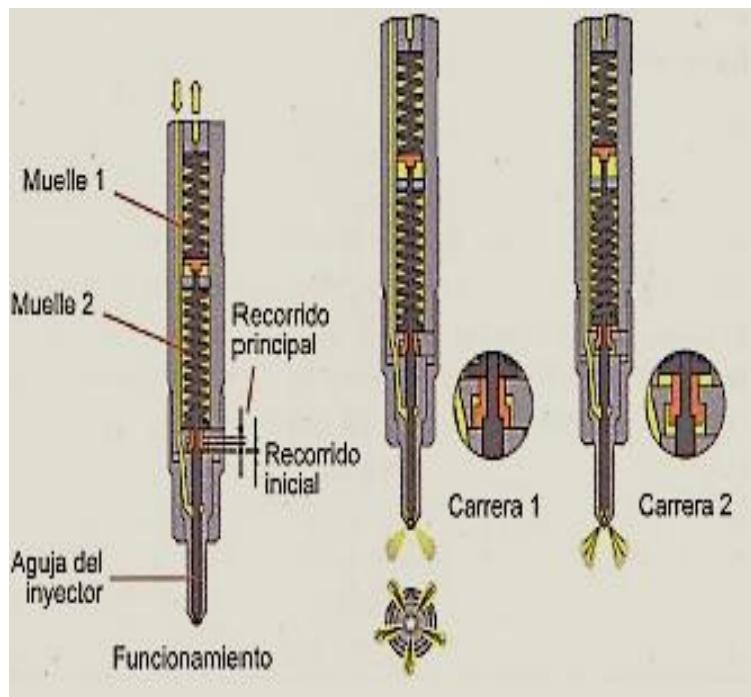
En la primera fase, o carrera inicial, la aguja asciende hasta comprimir el muelle pequeño, con un tarado de unos 110 bares. Se aporta una pequeña cantidad de combustible a menos presión, produciendo que la presión y la temperatura en la

cámara de combustión aumenten para obtener una mejora en la combustión del diésel que se inyecta al interior del cilindro, esto ayuda a mejorar la suavidad de marcha del motor, y disminuir el ruido de funcionamiento.

En la segunda fase o carrera principal, en este momento se produce la aportación del combustible restante, es decir aumenta la presión, puesto que el segundo muelle tiene un tarado en torno a los 250 bares, la apertura de este se efectúa, debido a la compresión total del muelle pequeño, lo cual hace que la presión del combustible se transmita al segundo muelle hasta que la fuerza resultante es superior al tarado del mismo, provocando su apertura, ver figura 21.

Figura 21

Fases de apertura del inyector de doble muelle



Fuente: (Pérez, 2018)

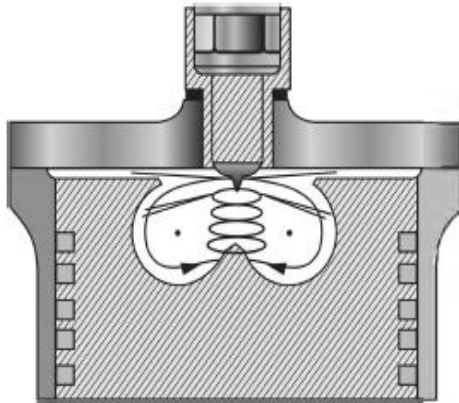
2.3 Características de la inyección del motor diésel

La inyección del motor diésel tiene sus particularidades debido a la que trabaja con alta presión y temperatura, para alcanzarla el sistema de inyección se encarga de aportar el caudal que sea necesario para alcanzar este objetivo. El inyector se encarga de pulverizar el combustible para que sea ingresado al interior de la cámara de combustible.

Para introducir el combustible se utiliza dos métodos conocidos como la inyección directa, ver figura 22, que puede alcanzar presiones que van desde los 240 hasta los 260 bares de presión y la inyección indirecta, ver figura 23, que alcanza presiones entre 120 y 160 bares de presión (González, 2011).

Figura 22

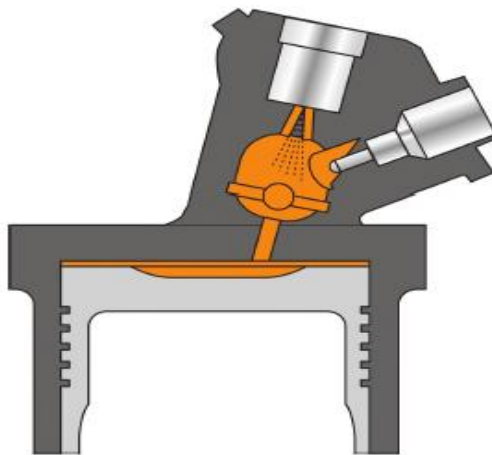
Inyección directa de combustible diésel



Fuente: (Pérez, 2011)

Figura 23

Inyección indirecta de combustible diésel



Fuente: (Pérez, 2011)

Uno de los parámetros más importante se encuentra la presión de apertura del inyector, la cual determina el momento y algunas de las condiciones en que el combustible comienza a ingresar a la cámara de combustión (Reddy V. , 2023).

La presión de apertura influye directamente en el ingreso de combustible a la cámara de combustión es decir la atomización del diésel, podríamos decir que, si afecta el tamaño de gota, el patrón de aspersión y la mezcla aire–combustible tendría variaciones. Una presión demasiado baja genera gotas grandes y combustión incompleta, lo que ocasiona humo negro y pérdida de potencia. Por el contrario, presiones demasiado altas pueden retrasar la inyección, aumentar la temperatura de combustión y favorecer la formación de óxidos de nitrógeno (Sangashetty, Investigation of influence of injector opening pressure and nozzle geometry on the performance and emission characteristics of DI diesel engine with CAOME., 2019).

Existen diferentes tipos de inyectores mecánicos, entre ellos el inyector tipo lápiz o de orificio, ampliamente usado en motores livianos, y el inyector-bomba característico en motores de vehículos pesados y maquinaria industrial.

El inyector tipo lápiz depende de la bomba inyectora externa para alcanzar la presión de apertura es entre 200 y 400 bares respectivamente, mientras que el sistema bomba–inyector integra la bomba de alta presión y el inyector en un solo cuerpo, en la actualidad los inyectores modernos están alcanzando presiones superiores a 1000 bares (Kim C. H., An analytical study on the performance analysis of a unit-injector system of a diesel engine. KSME International Journal, 17(2), 146 –156., 2023).

La calidad del proceso de inyección ha sido objeto de numerosos estudios experimentales y numéricos. Por ejemplo, (Battistoni M., 2021), demostraron que las características del flujo en la tobera y la viscosidad del combustible diésel vs. biodiésel modifican de forma significativa la pulverización.

Asimismo, (Schmidt D. P., 2021); explican que el flujo interno de las boquillas puede presentar fenómenos de cavitación que alteran la atomización y el desgaste de los inyectores.

2.4 Componentes del sistema de inyección de combustible del motor diésel

El sistema de inyección de combustible está compuesto por dos circuitos, el de baja y el de alta presión de combustible, ambos están unidos entre sí, el primero se encarga de alimentar al de alta presión para pulverizar el combustible y sea introducido al interior del

cilindro y esta a su vez logre combusutionarse con toda la masa de caliente que existe en el interior.

2.5 Presión de apertura del inyector

La presión de apertura del inyector es el valor mínimo de presión que debe alcanzar el combustible para que la aguja del inyector se eleve y permita la entrada de combustible a la cámara de combustión (Reddy V. &., 2013). Este parámetro es crítico, ya que determina el inicio preciso de la inyección y, por tanto, influye directamente en la eficiencia de la combustión, la formación de emisiones contaminantes y el rendimiento del motor.

Presiones por debajo del rango recomendado pueden producir gotas grandes de combustible y combustión incompleta, mientras que presiones excesivas retrasan la inyección y favorecen la generación de óxidos de nitrógeno (Sangashetty, Investigation of influence of injector opening pressure and nozzle geometry on the performance and emission characteristics of DI diesel engine with CAOME. , 2019).

2.6 Circuito de inyector tipo lápiz o de orificio

El inyector tipo lápiz es un dispositivo sencillo y compacto que funciona principalmente como válvula de apertura controlada por la presión generada por la bomba inyectora externa (Reddy V. &., 2013). Sus presiones de apertura típicas oscilan entre 200 y 400 bares, siendo común en motores diésel ligeros de vehículos como Isuzu o Nissan. La simplicidad de su diseño facilita su mantenimiento y reemplazo, pero su desempeño depende de la correcta calibración de la bomba de alta presión externa, figura 5.

2.7 Bomba - Inyector

Los inyectores mecánicos no integran la bomba de alta presión en un solo conjunto, sino que dependen de una bomba externa para generar la presión necesaria para la inyección. Aunque no alcanzan presiones tan elevadas como los sistemas bomba–inyectores modernos superiores a 1000 bares. El émbolo es movido por el árbol de levas y así se genera la presión necesaria para la inyección (Payri, 2009).

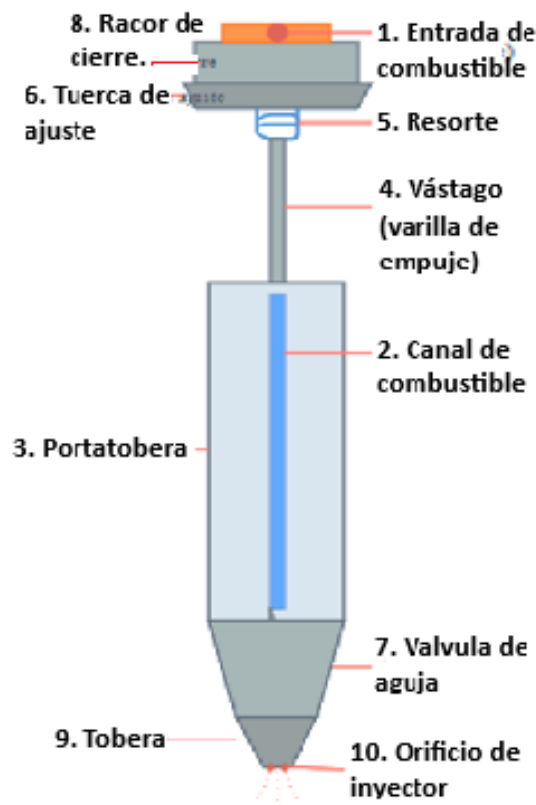
Sin embargo, no llega a los niveles de presión de los sistemas modernos, que

superan los 1000 bar, ya que normalmente trabaja entre 300 y 800 bares (Kim C. H., An analytical study on the performance analysis of a unit-injector system of a diesel engine. KSME International Journal, 17(2), 146 –156., 2003). Los inyectores mecánicos son ampliamente utilizados en motores diésel por su robustez, simplicidad y facilidad de mantenimiento.

Permiten una pulverización adecuada del combustible, contribuyen a un buen desempeño del motor y facilitan el control de la cantidad y el momento de inyección, siendo ideales para motores de uso pesado o industrial, figura 24.

Figura 24

inyector mecánico a diésel tipo lápiz



Fuente: (Almade, 2012)

2.8 Calibrador de inyectores diésel

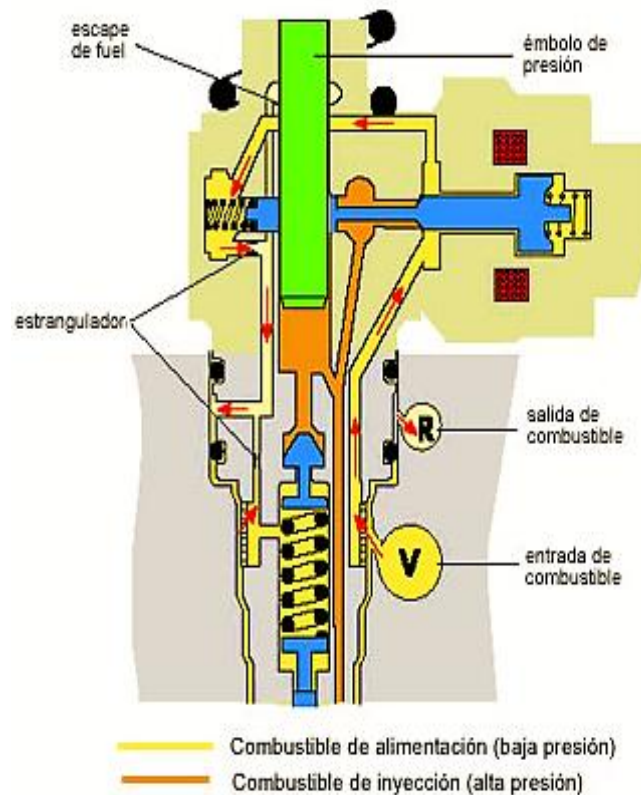
En la actualidad, el banco de pruebas de inyectores constituye una herramienta indispensable en talleres y centros de investigación, ya que permite medir con precisión la presión de apertura y verificar si un inyector se encuentra dentro de los parámetros de fábrica.

La calibración en banco asegura condiciones repetibles y comparables, lo cual es esencial para garantizar una combustión eficiente y reducir emisiones contaminantes (Kapilan, 2017).

Figura 25

Bomba - Inyector

Circuito interno de la bomba-inyector, cuando genera presión



Fuente: (TallerActual, 2017)

El probador de inyectores diésel mecánicos marca Autool, figura 26, es una herramienta utilizada para evaluar el rendimiento de los inyectores en un motor diésel. Los inyectores son responsables de inyectar combustible en los cilindros del motor para su combustión, y es importante que funcionen correctamente para garantizar un rendimiento óptimo del motor y una combustión eficiente.

Un probador de inyectores puede medir varios parámetros del rendimiento del inyector, como la cantidad de combustible que se inyecta, la presión del combustible, la forma en que se dispersa el combustible y el tiempo de inyección. (common rail, 2023) Algunos probadores de inyectores diésel también tienen la capacidad de simular condiciones de funcionamiento del motor y medir el rendimiento del inyector en diferentes condiciones.

Figura 26

Probador de Inyectores Mecánicos Autool



Fuente: (Toolcarec, 2023)

Para usar un probador de inyectores diésel, primero se desconecta el inyector del motor y se conecta al probador. Luego, se proporciona pulso al inyector y se mide el rendimiento del inyector. Si el rendimiento del inyector no es el esperado, se pueden realizar ajustes o reemplazar el inyector.

Capítulo III

Metodología

En el presente capítulo se describe de manera detallada la metodología empleada para el desarrollo del análisis comparativo de la presión de apertura entre los inyectores tipo lápiz y el inyector-bomba, utilizando el banco de pruebas AUTOOL, como se muestra en la Figura 27. La aplicación de este método permitió establecer una comparación técnica entre ambos tipos de inyectores y determinar cuál presenta una mayor presión de apertura.

Figura 27

Inyector de tipo lápiz y bomba-inyector



La correcta aplicación de la metodología constituye un elemento fundamental para garantizar la fiabilidad de los resultados obtenidos, permitiendo además que el estudio pueda ser replicado en futuras investigaciones y aplicado de manera efectiva en procesos reales de mantenimiento automotriz.

3.1 Estudios implementados en la investigación realizada

En el trabajo presentado se desarrolló por medio de la aplicación de múltiples tipos de investigación, tales como lo son; la investigación descriptiva, investigación bibliográfica y la investigación de campo.

3.2.1 Investigación descriptiva

La investigación de tipo descriptiva se la utilizó para realizar el detalle de la situación problemática concerniente y referente al diagnóstico realizado en los dos tipos de inyectores el de tipo lápiz y el inyector bomba.

3.2.2 Investigación bibliográfica

Para desarrollar la presente aplicación se aplicó la investigación de tipo bibliográfica con la finalidad de recabar información relacionada al tema, para ello se consultó libros, enciclopedias, revistas, guías y portales de internet que se relacionan con la temática en estudio, esto sirvió para establecer el diagnóstico real y apropiado de los inyectores para motores diésel.

3.2.3 Investigación de campo

La investigación de campo permitió la ejecución práctica del estudio mediante pruebas reales realizadas sobre los inyectores tipo lápiz e inyector-bomba. A través de este tipo de investigación se aplicó un método experimental que facilitó la medición directa de la presión de apertura, validando el objetivo principal del trabajo investigativo.

3.3 Descripción del proceso evaluativo

El diagnóstico de las presiones de apertura de los inyectores tipo lápiz y el inyector – bomba, se utilizó el equipo automotriz conocido como AUTOOL, ver figura 9, el trabajo se desarrollará en el taller automotriz Mundo Diesel ubicado en la provincia del Guayas, cantón Guayaquil, en las calles Tulcán y Clemente Ballen.

3.4 Análisis de la presión de apertura de los inyectores tipo lápiz

Para realizar el análisis del inyector de tipo lápiz se utilizó la conexión de la cañería que va desde el probador de inyectores AUTOOL hacia el inyector, ver figura 28.

3.1 Tipos de Mantenimientos Automotrices

De acuerdo con expuesto por (Prodwaregroup, 2023), se puede decir que el aplicar los mantenimientos en el automóvil es para tener la garantía que todos los componentes del vehículo funciones de forma correcta, estas acciones se las puede aplicar en todos y cada uno de los componentes del vehículo como por ejemplo los siguientes; en el motor; el sistema de frenos, la dirección, la suspensión, el arranque, el encendido, la carga, la transmisión y la iluminación; tambien, se incluye el mantenimiento del sistema de alimentación de combustible y todos los cuidados necesarios para la conservación de la pintura del automóvil.

Figura 28

Probador de Inyectores Mecánicos Autoool



Fuente: (Toolcarec, 2023)

Figura 29

Conexión del inyector tipo lápiz hacia el probador de inyectores



Luego se realiza la prueba de apertura del inyector, teniendo como resultado que se apertura a una presión muy cercana a los 3000 psi, esto quiere decir que el inyector si está en el rango de lo establecido por el fabricante, ver figura 30.

Figura 30

Conexión del inyector tipo lápiz hacia el probador de inyectores



Luego se procede a retirar el inyector de tipo lápiz del banco de pruebas, seguido se procedió a ubicar el inyector-bomba en el equipo para realizar las pruebas correspondientes y se procedió a ubicarlo de la misma forma que se ubicó el inyector de tipo lápiz, para ello se utilizó la llave milimétrica de numero 17 para la parte del inyector mientras que para la parte del equipo se utilizó una llave de numero 19 milímetros, ver figura 32.

Figura 31

Conexión del inyector tipo bomba-inyector



La prueba de apertura del inyector-bomba permitió alcanzar una presión cercana a los 5000 psi, evidenciando que este tipo de inyector presenta una presión de apertura superior al inyector tipo lápiz. Para esta prueba se empleó una base metálica de apoyo, como se observa en la Figura 32, debido a las altas presiones de operación requeridas.

Figura 32

Base metálica de apoyo del inyector - bomba



La presión de apertura del inyector – bomba es mucho más alta, es por ello por lo que es utilizado generalmente en vehículos de carga pesada, pero sobre todo en maquinaria pesada como por ejemplo: la retro excavadora, pala cargadora, motoniveladora, excavadora, aplanadora, Bulldozer, volquetas entre otras.

Seguid de aquello se empieza a generar la presión con el equipó probador de inyectores mecánicos hasta alcanzar la apertura del inyector – bomba, ver figura 33.

Figura 33

Base metálica de apoyo del inyector - bomba



Este tipo de inyectores alcanzan presiones de apertura mayores a los inyectores de tipo lápiz con los cuales se esta realizando la comparativa, esto especialmente por su contextura y aplicación en vehículos que requieren ser sometidos a condiciones de trabajo extremas, sobre todo con relación a su torque o fuerza que deben prestar para realizar su trabajo.

La presión que se debió alcanzar para lograr la apertura estuvo cercana a los 6000 PSI, ver figura 34, es decir que este tipo de inyectores debe alcanzar una pulverización de la mezcla más adecuada que los inyectores tipo lápiz, sin embargo se debe destacar que la pulverización del ideal del combustible tambien esta sujeta a otros factores como la calidad o tipo de con el cual se este trabajando, todos los sistema de inyección en buen estado tales un tanque de combustible limpio, bomba en buen estado y bien calibrada, válvula de retención en buen estado, cañerías sin fugas ni golpes que dificulten la circulación de combustible, estanqueidad apropiada del sistema.

Figura 34

Presión de apertura del inyector - bomba



3.2 Tipos de Mantenimientos Automotrices

De acuerdo con expuesto por (Prodwaregroup, 2023), se puede decir que el aplicar los mantenimientos en el automóvil es para tener la garantía que todos los componentes del vehículo funciones de forma correcta, estas acciones se las puede aplicar en todos y cada uno de los componentes del vehículo como por ejemplo los siguientes; en el motor; el sistema de frenos, la dirección, la suspensión, el arranque, el encendido, la carga, la transmisión y la iluminación; también, se incluye el mantenimiento del sistema de alimentación de combustible y todos los cuidados necesarios para la conservación de la pintura del automóvil.

El llevar un registro del funcionamiento del vehículo es muy importante para llevar el control de la labor que realiza, esto incluye el kilometraje recorrido, los caudales de operación, el voltaje, la temperatura alcanzada por los componentes, entre otros valores que permiten realizar un seguimiento adecuado.

Es importante resaltar que lo correspondiente a lo relacionado en la operación del vehículo y que se realice con mayor frecuencia, para ello se debe considerar varios factores como la temperatura ambiente, la humedad, las vibraciones a las que se somete el equipo y los desplazamientos que realiza durante su funcionamiento.

Capítulo IV

Análisis de Resultados

Para el análisis de los resultados obtenidos se tomó como referencia la presión de apertura establecida por el fabricante para cada tipo de inyector mecánico. En el caso del inyector tipo lápiz, el fabricante indica una presión de apertura aproximada dentro del rango operativo correspondiente a este tipo de inyector, mientras que para el inyector-bomba se establece una presión de apertura superior, acorde con su diseño y su aplicación en motores diésel de mayor exigencia.

Durante la evaluación experimental del inyector tipo lápiz en el banco de pruebas AUTOOL, se obtuvo una presión de apertura cercana a los 3000 psi, como se muestra en la Figura 35, valor que se encuentra dentro del rango permitido por el fabricante. Este resultado evidencia un adecuado funcionamiento del inyector, permitiendo una correcta apertura de la aguja y una adecuada pulverización del combustible en la cámara de combustión.

Figura 35

Presión de apertura del inyector tipo lápiz



Por otra parte, al realizar la prueba de presión de apertura del inyector-bomba, se registró un valor aproximado de 6000 psi, ver figura 36, lo que confirma que este tipo de

inyector opera a presiones considerablemente mayores en comparación con el inyector tipo lápiz. Este comportamiento es consistente con su configuración mecánica, ya que el inyector-bomba integra su propio sistema de generación de presión, lo que le permite alcanzar valores más elevados durante la inyección.

Figura 36

Presión de apertura del inyector tipo lápiz



El análisis comparativo de los resultados demuestra que la diferencia en la presión de apertura entre ambos tipos de inyectores está directamente relacionada con su diseño constructivo y su campo de aplicación en distintos motores diésel. Mientras el inyector tipo lápiz es adecuado para motores diésel livianos, el inyector-bomba resulta más eficiente en motores que requieren mayores presiones de inyección para garantizar una combustión más eficiente.

Finalmente, los resultados obtenidos permiten establecer que el banco de pruebas AUTOOL constituye una herramienta confiable para el diagnóstico y la evaluación de inyectores mecánicos, ya que facilita la verificación del estado operativo de estos componentes y contribuye a una adecuada toma de decisiones en los procesos de mantenimiento y calibración dentro del ámbito automotriz.

Conclusiones

El análisis comparativo realizado en el banco de pruebas Autool NTD 600 permitió determinar que el inyector tipo lápiz presentó una presión de apertura aproximada de 3000 psi, valor que se encuentra dentro del rango especificado por el fabricante, evidenciando un funcionamiento adecuado del sistema de apertura de la aguja y una correcta pulverización del combustible.

En el caso del inyector-bomba, la presión de apertura registrada durante el ensayo fue de aproximadamente 6000 psi, lo que confirma que este tipo de inyector opera a presiones significativamente superiores en comparación con el inyector tipo lápiz, en concordancia con su diseño mecánico integrado y su aplicación en motores diésel de mayor exigencia.

La diferencia de 3000 psi entre las presiones de apertura de ambos inyectores demuestra que el diseño constructivo influye directamente en el rango de operación de cada sistema de inyección, siendo el inyector tipo lápiz adecuado para motores diésel livianos y de requerimientos moderados, mientras que el inyector-bomba resulta más eficiente para motores que demandan altas presiones de inyección.

Los resultados obtenidos confirman que el banco de pruebas Autool NTD 600 es una herramienta confiable para la evaluación de inyectores mecánicos, ya que permite medir con precisión la presión de apertura y verificar si los valores obtenidos, como 3000 psi y 6000 psi, se encuentran dentro de los parámetros técnicos establecidos por el fabricante.

Recomendaciones

Tomando en cuenta las variaciones en las presiones de apertura identificadas entre ambos sistemas, se sugiere seleccionar el tipo de inyector apropiado según las especificaciones y necesidades operativas del motor diésel en cuestión.

Basándose en los valores de presión documentados durante las pruebas con el equipo Autool, se aconseja implementar verificaciones regulares de presión de apertura como parte de un programa de mantenimiento preventivo, garantizando así la operación óptima de los inyectores a lo largo de su vida útil.

Considerando la correlación entre la configuración del inyector y su campo de aplicación, se recomienda ampliar el diagnóstico incorporando la evaluación de variables adicionales del sistema de inyección, tales como el patrón de pulverización y el tiempo de respuesta, con el propósito de maximizar la eficiencia global del motor diésel.

Bibliografía

- Almade, H. (febrero de 2012). *Producción de inyectores diésel y tecnología "common-rail"*.
Obtenido de https://almadeherrero.blogspot.com/2012_02_01_archive.html
- autolab. (2022). *autolab*. Obtenido de autolab: <https://autolab.mx/blog/bomba-de-inyeccion-rotativa/#:~:text=Funcionamiento%20de%20la%20bomba%20de,cada%20uno%20de%20ellos%20r%C3%A1pidamente>.
- Battistoni M., & G. (2021). *Numerical analysis of injector flow and spray characteristics from diesel injectors using fossil and biodiesel fuels*. *Applied Energy*, 88(12), 5021–5032.
Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2011.06.025>
- common rail, c. (2023). *common rail chile*. Obtenido de common rail chile: <https://www.commonrailchile.com/blog/como-funciona-un-probador-de-inyectores-diesel-te-explicamos/>
- FRAM. (2023). Obtenido de FRAM: <https://www.fram-europe.com/es/productos/filtros-de-diesel.html>
- González, C. D. (2011). *Motores*. Paraninfo.
- HDI. (2024). Obtenido de <https://hdi.com.pe/que-es-el-sistema-de-inyeccion-diesel/>
- Idoneo.es. (2024). Obtenido de <https://idoneo.es/motorpedia/deposito-combustible#>
- Implementos. (2023). *implementos*. Obtenido de implementos: <https://www.implementos.cl/inicio/productos/ficha/ca-eria-baja-presion-combustible-MWMMOT0654>
- Kapilan, N. (2017). Effect of injector opening pressure on performance and emission of LPG – methyl ester of Mahua oil dual fuel engine. *ASEAN Journal on Science and Technology for Development*, 123 - 135.
- Kim C. H., & L. (2003). *An analytical study on the performance analysis of a unit-injector system of a diesel engine*. *KSME International Journal*, 17(2), 146 –156. Obtenido de <https://doi.org/10.1007/BF02984296>

- LOCITE.TEROSON. (2023). *LOCITE.TEROSON*. Obtenido de LOCITE.TEROSON:
<https://blog.reparacion-vehiculos.es/tipos-de-inyectores-diesel-y-consejos-de-mantenimiento>
- Locitite, T. (2023). Obtenido de <https://blog.reparacion-vehiculos.es/sintomas-de-inyectores-sucios-y-prevencion-de-averias-relacionadas>
- Loctite-Teroson. (2025). Obtenido de <https://blog.reparacion-vehiculos.es/composicion-de-la-pintura-de-carroceria>
- luminokrom. (2025). Obtenido de https://www.luminokrom.com/en/blog/how-to-apply-glow-in-the-dark-paint/?utm_source=chatgpt.com
- Mitsubishi-motors. (2021). Obtenido de <https://www.mitsubishi-motors.com.pe/blog/que-es-carroceria-auto/>
- Motor.es. (2022). Obtenido de <https://www.motor.es/que-es/carroceria>
- Parks, D. (2019). *Manual de reparación de Carrocería y Pintura Automotriz*. Limusa.
- Patzán, D. (2023). *Tecnología para aplicado de pintura en Automotriz Jireh*. Guatemala:
- Payri, R. S. (2009). *Experimental and CFD analysis of nozzle geometry effects on diesel spray characteristics*. *Fuel*, 88(4), 650 –660. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2008.11.008>
- Pérez, B. M. (2023). *Sistemas Auxiliares del motor* . Paraninfo.
- Premium. (2024). Obtenido de https://es.123rf.com/photo_14932004_silver-dep%C3%B3sito-de-combustible-de-cami%C3%B3n-grande.html
- Reddy, V. (2023). *Effect of injector opening pressure on performance, emission and combustion characteristics of DI diesel engine*. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 32(1), 148–155. Obtenido de <https://doi.org/10.1002/ep.10628>
- Sánchez, E. (2018). *Sistemas Auxiliares del Motor*. MacMillan.
- Sangashetty, S. G. (2019). Investigation of influence of injector opening pressure and nozzle geometry on the performance and emission characteristics of DI diesel engine with CAOME. *European Journal of Sustainable Development Research*, 3 - 4.

- Santiago, S. (2023). *Santiago, Soluciones*. Obtenido de Santiago, Soluciones:
<https://santiagosolucion.com/inyectores-fallas-comunes-y-como-detectarlas/>
- Schmidt D. P., C. M. (2021). *The internal flow of diesel fuel injector nozzles: A review. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*, 215(4), 411–434. Obtenido de
- TallerActual. (15 de diciembre de 2017). *El sistema inyector/bomba*. Obtenido de
<https://www.talleractual.com/tecnica/partes-de-motor/2784-el-sistema-inyector-bomba>
- Talleres, B. (2022). *Buscando Talleres*. Obtenido de Buscando Talleres:
<https://buscadordetalleres.com/blog/diferentes-tipos-de-sistemas-de-refrigeracion/>
- Toolcarec. (2023). *Toolcarec*. Obtenido de Toolcarec:
<https://toolcarec.com/producto/comprobador-de-inyectores-diesel/>
- TOPDON. (2023). Obtenido de TOPDON:
https://m.topdon.com/diagnostic_detail.html?name=Phoenix%20Lite%202