



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**  
**SEDE QUITO**  
**CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DIDÁCTICO PARA EL ESTUDIO DE  
BOMBAS LINEALES Y ROTATIVAS EN MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA  
CON ENFOQUE MECÁNICO Y ELECTRÓNICO PARA EL LABORATORIO DE  
INGENIERÍA AUTOMOTRIZ SEDE QUITO

Trabajo de titulación previo a la obtención del  
Título de Ingeniero Automotriz

AUTORES: JOSÉ EDUARDO CHOEZ GUEVARA  
ESSON DAMIÁN LUCAS ALARCÓN

TUTOR: WILSON GUSTAVO MOROCHO DOMÍNGUEZ

Quito - Ecuador

2024

## **CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Nosotros, José Eduardo Choez Guevara, con documento de identificación N°2300527302 y  
Esson Damián Lucas Alarcón con documento de identificación N°2100762828  
manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro  
la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera  
total o parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 7 de agosto del año 2024

Atentamente,



---

José Eduardo Choez Guevara  
2300527302



---

Esson Damián Lucas Alarcón  
2100762828

## **CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, José Eduardo Choez Guevara con documento de identificación No. 2300527302 y Esson Damián Lucas Alarcón con documento de identificación No. 2100762828, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Proyecto Técnico: "Diseño y construcción de un banco didáctico para el Estudio de Bombas Lineales y Rotativas en Motores de Combustión Interna con Enfoque Mecánico y Electrónico para el Laboratorio de Ingeniería Automotriz sede Quito", el cual ha sido desarrollado para optar por el título de Ingenieros Automotrices, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana

Quito, 7 de agosto del año 2024

Atentamente,



---

José Eduardo Choez Guevara  
2300527302



---

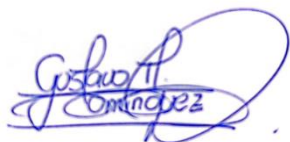
Esson Damián Lucas Alarcón  
2100762828

## CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Wilson Gustavo Morocho Domínguez con documento de identificación N° 0105072144, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DIDÁCTICO PARA EL ESTUDIO DE BOMBAS LINEALES Y ROTATIVAS EN MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA CON ENFOQUE MECÁNICO Y ELECTRÓNICO PARA EL LABORATORIO DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ SEDE QUITO, realizado por José Eduardo Choez Guevara con documento de identificación N° 2300527302 y por Esson Damián Lucas Alarcón con documento de identificación N° 2100762828, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción: Proyecto Técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 7 de agosto del año 2024

Atentamente,



---

Ing. Wilson Gustavo Morocho Domínguez, MSc

0105072144

## **DEDICATORIA**

Gracias a mis padres, Eduardo Choez y Jimena Guevara, por formar parte de mi vida. Por su amor y condiciones que me brindan, trabajo, sacrificio y apoyo en cada paso que doy. Este éxito es tanto suyo como mío debido a todo el esfuerzo que hicieron por superarme en la vida.

Mi pareja, Vanessa Pinza, por el afecto, la comprensión que brindan y ánimo constante durante esta travesía. Gracias por ser mi apoyo cuando las cosas están difíciles.

A mi tía Gabriela Guevara, por su afecto y palabras de motivación que me inspiraron a continuar. Gracias por mostrar perseverancia.

A todos ellos, que fueron parte fundamental en este proceso, mis agradecimientos más sinceros. Cada uno aportó un granito de arena para hacer posible este gran logro.

Espero que esta dedicatoria logre plasmar tu sentimiento de gratitud hacia las personas que más te han apoyado en tu trayecto académico y personal.

José Choez

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco primero a Dios, quien nos da la vida y me lleva por el camino del bien, nos protege siempre y nos da fortaleza.

En primer lugar, quiero expresar mis más profundas gratitudes hacia mis padres, Eduardo Choez y Jimena Guevara, por su amor sin condiciones, sacrificio y esfuerzo por brindarme la mejor educación posible. Me gustaría expresar mi gratitud por inculcarme el valor de la perseverancia y el deseo de mejorar continuamente. Sin su respaldo incondicional, este éxito no habría sido alcanzable.

A mi enamorada Vanessa Pinza, por su comprensión, paciencia y apoyo en los momentos más desafiantes de este viaje. Gracias por brindarme apoyo emocional y motivarme a seguir adelante a pesar de los desafíos.

Mi sincero agradecimiento a los ingenieros por compartir valiosos conocimientos y experiencia laboral y por soportarnos toda la carrera. En especial a mi tutor y director de carrera y a todos aquellos que contribuyeron con su conocimiento y experiencia a este proyecto. Sus aportes y orientación fueron esenciales en el desarrollo de este proyecto. Gracias por su generosidad al compartir su sabiduría.

A mi querida tía Gabriela Guevara, porque fue un apoyo importante en mi vida y siempre creyó en mí. Tus palabras de aliento y consejos me dieron la fuerza para no rendirme ante los obstáculos.

José Choez

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

INTRODUCCIÓN.....	1
PROBLEMA .....	2
Delimitación del problema .....	3
Objetivo General.....	4
Objetivos Específicos .....	4
1. MARCO TEÓRICO .....	5
1.1 Motor Diésel .....	5
1.2 Tipos de motores a diésel.....	5
1.3 Según el ciclo de trabajo.....	6
1.3.1 Motor de 4 tiempos.....	6
1.4 Motor de 2 tiempos.....	7
1.5 Según al control de combustible del motor diésel.....	8
1.5.1 Inyección directa.....	8
1.5.2 Con cámaras de pre-combustión. ....	8
1.5.3 Con cámaras de turbulencia.....	8
1.5.1 Con cámara auxiliar de reserva de aire.....	9
1.6 Según la disposición de los cilindros.....	9
1.6.1 En línea.....	9
1.6.2 En forma de V. ....	9
1.6.3 Cilindros opuestos. ....	9
1.6.4 Cilindros radiales.....	9
1.6.5 En forma de W.....	10
1.7 Según el número de cilindros .....	10
1.8 De acuerdo con el sistema de alimentación de aire .....	10
1.9 Sistema de alimentación de combustible .....	10
1.9.1 Sistema de inyección Diésel.....	10
1.10 Bombas de inyección de combustible .....	11

1.10.1	Bomba rotativa.....	11
1.10.2	Bomba lineal.....	13
1.10.3	Bombas de dosificación electromecánicas (EDC).....	13
CAPÍTULO 2 .....		15
2.	FUNDAMENTOS DE LAS BOMBAS DE INYECCIÓN.....	15
2.1	Introducción a la Alimentación de motores MEC .....	15
2.1.1	Inyección multipunto y mono punto.....	15
2.1.2	Directa e indirecta.....	15
2.2	Partes del sistema de alimentación de Diésel .....	17
2.2.1	Bomba de inyección .....	18
2.2.2	Porta inyector.....	18
2.2.3	Inyector.....	18
2.2.4	Líneas de combustible .....	18
2.3	Importancia y funciones del sistema de alimentación .....	18
2.4	Sistemas de alimentación de alta y baja presión.....	19
2.5	El propósito del sistema alimentario.....	20
2.6	Circuitos de alta y baja presión.....	20
2.6.1	Circuito de baja presión.....	20
2.6.2	Circuito de alta presión.....	21
2.7	Sistemas modernos de alta presión .....	22
2.7.1	Common-rail.....	22
2.7.2	Bomba-inyector .....	22
2.8	Bombas mecánicas de inyección diésel: lineales y rotativas .....	22
2.8.1	Lineales.....	22
2.8.2	Funcionamiento de la bomba lineal diésel .....	23
2.8.3	Bomba alimentadora.....	24
2.8.4	Árbol de levas.....	25
2.8.5	Elementos de bombeo.....	25



2.8.6	Cremallera de regulación.....	26
2.8.7	Regulador de velocidad .....	26
2.8.8	Bomba de inyección lineal con control electrónico.....	27
2.9	Tipos de Bombas Electrónicas Lineales .....	27
2.9.1	Bombas de Inyector Unitario (UIS).....	28
2.19.2	Bombas de Riel Común .....	28
2.10	Elementos y Partes Clave.....	28
2.10.1	Ventajas de este sistema .....	28
2.10.2	Funcionamiento .....	28
2.10.3	Bombas de inyección rotativas mecánicas.....	29
2.10.4	Partes de la bomba de inyección rotativa.....	29
2.10.4	Bomba de combustible de aletas.....	30
2.10.5	Válvula reguladora de presión .....	31
2.10.6	Disco de levas .....	32
2.10.7	Pistón de distribución o plunger .....	32
2.11	Bombas Electrónicas Rotativas.....	33
2.12	Tipos de Bombas Electrónicas Rotativas .....	33
2.12.2	Bombas de Distribuidor Electrónico (EDC - Electronic Distributor Pump). 33	
2.12.3	Bombas de Pistón Radial Electrónico (ERP - Electronic Radial Pistón Pump). 33	
2.13	Elementos y Partes de las Bombas Electrónicas Rotativas.....	33
2.13.1	Elemento Rotativo. ....	33
2.13.2	Unidad de Control Electrónica (ECU).....	33
2.13.3	Sensores. ....	34
2.13.4	Válvulas de Control. ....	34
2.14	Comprobaciones de bombas lineales y rotativas.....	34
2.14.1	Bombas Lineales Mecánicas.....	34

2.14.2	Pruebas dinámicas .....	34
2.14.3	Pruebas Estáticas.....	34
2.15	Bombas Lineales Electrónicas .....	34
2.15.1	Pruebas Dinámicas.....	35
2.15.2	Pruebas Estáticas.....	35
2.16	Bombas Rotativas Mecánicas.....	35
2.16.1	Pruebas Dinámicas.....	35
2.16.2	Pruebas Estáticas.....	35
2.17	Bombas Rotativas Electrónicas .....	35
2.17.1	Pruebas Dinámicas.....	35
2.17.2	Pruebas Estáticas.....	36
CAPÍTULO 3 .....		36
3.	DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DEL BANCO DIDÁCTICO .....	36
3.1	Diseño de la estructura del banco didáctico.....	36
3.2	Desarrollo de las simulaciones .....	40
3.3	Criterio de construcción.....	44
3.4	Fuerzas de reacción.....	46
3.5	Momentos de reacción .....	46
CAPÍTULO 4 .....		47
4.	CONSTRUCCIÓN DEL BANCO DE PRUEBAS DE BOMBAS DE INYECCIÓN.....	47
4.1	Explicación de manera general el proceso de construcción .....	47
4.2	Estructura del prototipo .....	51
4.2.1	Materiales .....	51
Tabla 3.13: Materiales .....		51
4.2.2	Máquinas y herramientas.....	52
Tabla 3.14: Máquinas y herramientas.....		52
3.6	Proceso de construcción de la estructura .....	53
CAPÍTULO 5 .....		59

5. MANUAL DE INSTRUCCIONES PARA EL FUNCIONAMIENTO DEL BANCO DIDÁCTICO .....	59
5.1 Manual de uso y cuidado .....	59
5.1.1 Precauciones Eléctricas .....	59
5.1.2 Precauciones de seguridad.....	60
5.1.3 Guía de uso .....	60
5.1.4 Mantenimiento y cuidado .....	63
5.1.5 Mantenimiento Diario .....	63
5.1.6 Mantenimiento Periódico .....	63
5.1.7 Almacenamiento .....	64
5.2 Características de construcción .....	64
5.2.1 Planos. ....	64
5.2.2 Dimensiones y espacio. ....	65
5.2.3 Tratamiento anticorrosión.....	65
5.2.4 Bases y anclajes. ....	66
5.2.5 Aislamiento de vibraciones. ....	66
5.2.6 Señalización y protección.....	67
5.2.7 Cableado y conexiones. ....	67
5.2.8 Paneles de control.....	68
5.3 Peso y dimensiones de las bombas .....	69
5.4 Cuidados a la hora de manipulación del banco .....	72
CONCLUSIONES.....	73
RECOMENDACIONES .....	74
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	75

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.1:</b> Tipos de motores a diésel. ....	5
<b>Figura 1.2:</b> Proceso de admisión. ....	6
<b>Figura 1.3:</b> Proceso de compresión. ....	6
<b>Figura 1.4:</b> Proceso de explosión. ....	7
<b>Figura 1.5:</b> Proceso de escape. ....	7
<b>Figura 1.6:</b> Funcionamiento motor de 2 tiempos. ....	8
<b>Figura 1.7:</b> Cámara con turbulencia. ....	8
<b>Figura 1.8:</b> Cilindros opuestos. ....	9
<b>Figura 1.9:</b> Cilindros en estrella. ....	9
<b>Figura 1.10:</b> Circuito de alimentación bomba rotativa. ....	12
<b>Figura 1.11:</b> Circuito de alimentación bomba lineal. ....	13
<b>Figura 1.12:</b> Bomba rotativa electromecánica BOSCH. ....	14
<b>Figura 2.1:</b> Alimentación de motores MEC. ....	15
<b>Figura 2.2:</b> Sistema de alimentación. ....	17
<b>Figura 2.3:</b> Bombas de inyección lineal y rotativa. ....	17
<b>Figura 2.4:</b> Elementos del sistema de inyección diésel. ....	19
<b>Figura 2.5:</b> Circuito de baja presión. ....	20
<b>Figura 2.6:</b> Circuito de alta presión. ....	21
<b>Figura 2.7:</b> Bomba de inyección lineal. ....	23
<b>Figura 2.8:</b> Partes de la bomba Lineal mecánica. ....	24
<b>Figura 2.9:</b> Bomba alimentadora. ....	24
<b>Figura 2.10:</b> Árbol de levas. ....	25
<b>Figura 2.11:</b> Elementos de bombeo. ....	26
<b>Figura 2.12:</b> Cremallera de regulación. ....	26
<b>Figura 2.13:</b> Regulador de velocidad. ....	27
<b>Figura 2.15:</b> Bomba de combustible de aletas. ....	31
<b>Figura 2.16:</b> Válvula reguladora de presión. ....	31
<b>Figura 2.17:</b> Disco de levas. ....	32
<b>Figura 2.18:</b> Pistón de distribución o plunger. ....	33
<b>Figura 3.1:</b> Diseño del banco didáctico. ....	36
<b>Figura 4.1:</b> Adquisición de las bombas. ....	47
<b>Figura 4.2:</b> Limpieza de bombas. ....	48

<b>Figura 4.3:</b> Desarmado de bombas.....	48
<b>Figura 4.4:</b> Seccionamiento de bombas.....	49
<b>Figura 4.5:</b> Tapar bombas para pintar. ....	49
<b>Figura 4.6:</b> Aplicar pintura de fondo con relleno poliuretano.....	50
<b>Figura 4.7:</b> Pintar Bombas.....	50
<b>Figura 4.8:</b> Armada de las bombas.....	51
<b>Figura 4.9:</b> Corte de tubos para la estructura. ....	53
<b>Figura 4.10:</b> Soldar la estructura. ....	53
<b>Figura 4.11:</b> Corte de plancha para soporte de las bombas.....	54
<b>Figura 4.12:</b> Soldar soportes de las bombas.....	55
<b>Figura 4.13:</b> Estructura para el motor y bandas. ....	55
<b>Figura 4.14:</b> Pulir acabados de la soldadura.....	56
<b>Figura 4.15:</b> Aplicación de fonde en la estructura. ....	56
<b>Figura 4.16:</b> Aplicación de pintura poliuretano. ....	57
<b>Figura 4.17:</b> Ensamblaje y armado del banco de bombas.....	57
<b>Figura 5.1:</b> Precaución eléctrica.....	59
<b>Figura 5.2:</b> Precaución.....	60
<b>Figura 5.3:</b> Banco didáctico de bombas inyección diésel. ....	60
<b>Figura 5.4:</b> Tensado de las bandas. ....	61
<b>Figura 5.5:</b> Conexión eléctrica. ....	62
<b>Figura 5.6:</b> Funcionamiento. ....	62
<b>Figura 5.7:</b> Enchufe eléctrico. ....	63
<b>Figura 5.8:</b> Bomba seccionada. ....	64
<b>Figura 5.9:</b> Plano. ....	64
<b>Figura 5.10:</b> Dimensiones. ....	65
<b>Figura 5.11:</b> Tratamiento anticorrosivo.....	65
<b>Figura 5.12:</b> Soportes. ....	66
<b>Figura 5.13:</b> Cauchos. ....	66
<b>Figura 5.14:</b> Señalización.....	67
<b>Figura 5.15:</b> Conexiones. ....	67
<b>Figura 5.16:</b> Interruptor.....	68
<b>Figura 5.17:</b> Peso de la bomba lineal mecánica. ....	69
<b>Figura 5.18:</b> Peso de la bomba lineal semi electrónica. ....	69

<b>Figura 5.19:</b> Peso de la bomba rotativa mecánica.....	70
<b>Figura 5.20:</b> Peso de la bomba rotativa electrónica. ....	70
<b>Figura 5.21:</b> Peso del motor eléctrico.....	70
<b>Figura 5.22:</b> Ancho de la estructura del banco.....	71
<b>Figura 5.23:</b> Largo de la estructura del banco.....	71
<b>Figura 5.24:</b> Alto de la estructura del banco. ....	72

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1: Componentes bomba electromecánica BOSCH.....	14
Tabla 2.1: Partes de la bomba de inyección rotativa .....	29
Tabla 3.1: Propiedades de material.....	37
Tabla 3.2: Propiedades de estudio .....	39
Tabla 3.3: Unidades.....	39
Tabla 3.4: Análisis estático y tensiones.....	40
Tabla 3.5: Análisis estático y desplazamientos .....	40
Tabla 3.6: Factor de seguridad .....	41
Tabla 3.7: Tensiones de la placa de soporte .....	42
Tabla 3.8: Desplazamientos de la placa de soporte .....	43
Tabla 3.9: Factor de seguridad de la placa de soporte.....	44
Tabla 3.10: Cargar y sujeción.....	45
Tabla 3.11: Valores de las fuerzas de reacción .....	46
Tabla 3.12: Valores del momento de reacción .....	46
Tabla 3.13: Materiales .....	51
Tabla 3.14: Máquinas y herramientas.....	52

## RESUMEN

Una bomba de inyección es un componente fundamental en los motores diésel, encargado de suministrar la cantidad precisa de combustible a los cilindros en el momento adecuado. Existen diversos tipos de bombas de inyección que difieren en su diseño, funcionalidad y tecnología empleada. Las bombas rotativas utilizan elementos giratorios como pistones, paletas y levas para generar la presión necesaria para inyectar el combustible. Algunos ejemplos son las bombas VE (bombas de distribuidor y bombas en V), las bombas de paletas rotativas y las bombas de tornillo-tornillo. Estas bombas se encuentran comúnmente en motores diésel antiguos y de tamaño medio.

Por otro lado, las bombas lineales emplean el movimiento lineal de un émbolo o pistón para generar la presión de inyección. Las bombas lineales más comunes son las bombas en línea y las bombas de inyector unitario en línea. Estas bombas ofrecen una mayor precisión en la inyección y se utilizan ampliamente en motores diésel modernos. Las bombas electrónicas incorporan componentes electrónicos y sensores para un control más preciso de la inyección. Pueden ser rotativas o lineales, pero cuentan con un sistema de control electrónico. Ejemplos de estas bombas son las bombas de riel común, las bombas de acumulador, las bombas rotativas electrónicas (EDC) y las bombas lineales electrónicas (EUI). Estas bombas permiten un consumo de combustible más eficiente, un mejor rendimiento y una reducción de las emisiones contaminantes.

Las bombas semi electrónicas combinan componentes mecánicos y electrónicos. El sistema de inyección es mecánico, pero cuentan con elementos electrónicos de control. Ejemplos de estas bombas son las bombas con regulador electrónico de flujo (EFR) y las bombas con regulador electrónico de flujo (EBR). Estas bombas ofrecen un control más preciso que las bombas mecánicas tradicionales, pero sin la complejidad de las bombas totalmente electrónicas. Finalmente, las bombas mecánicas funcionan de forma completamente mecánica sin el uso de componentes electrónicos. Suelen ser bombas rotativas tradicionales o bombas en línea, como las bombas en línea (HEUI) o las bombas (VE) mecánicas. Estas bombas son simples y económicas, pero tienen un control de inyección menos preciso que las bombas electrónicas o semi electrónicas.

**Palabras Claves:** Motor diésel, inyección, bomba de inyección diésel.



## ABSTRACT

A diesel injection pump is a basic device in a diesel engine that ensures that fuel reaches the cylinders at the right time and in the right amount. There are many different types of injection pumps that differ in design, functionality and technology used. Rotary pumps are operated by rotating elements such as pistons, vanes and cams that create the pressure needed to inject fuel. Examples of this type include EV pumps (distributor pumps and V-pumps), rotary vane pumps, and screw-screw pumps. These pumps are often used in older and medium-sized diesel engines. The linear pump, on the other hand, uses the linear motion of a plunger or piston to generate injection pressure. Common linear pumps include in-line pumps and in-line unit injector pumps. These pumps offer higher injection accuracy and are commonly used in modern diesel engines.

The electronic pump includes electronics and sensors for more precise injection control. They are rotary or linear but have an electronic control system. Examples of these pumps are common rail pumps, accumulator pumps, electronic rotary pumps (EDC), and electronic linear pumps (EUI), they are two types of diesel injection pumps that use electronic control systems for more precise fuel injection management. These pumps allow for more efficient fuel consumption, better performance and a reduction in pollutant emissions. The semi-electronic pump is a combination of mechanical and electronic components. The injection system is mechanical, but there are some electronic control elements. Examples of these pumps are Electronic Flow Regulator (EFR) pumps and Electronic Flow Regulator (EBR) pumps. These pumps offer more precise control than traditional mechanical pumps, but without the complexity of fully electronic pumps.

Finally, mechanical pumps operate completely mechanically without the use of electronic components. They are usually traditional rotary pumps or in-line pumps, as in-line pumps (HEUI) are unit pumps with hydraulic and electronic control, offering good injection control or mechanical pumps (EVs) with less precise injection control. These pumps are simple and inexpensive, but they have less precise injection control than electronic or semi-electronic pumps.

**Keywords:** Diesel engine, injection, diesel injection pump.

## INTRODUCCIÓN

Actualmente, muchas empresas privadas del sector automotriz y gobiernos apoyan iniciativas para el uso masivo de vehículos potenciados por energías alternativas que pueden transportar más pasajeros o vehículos eléctricos unipersonales usados para los traslados de última milla, permitiendo implementar nuevas soluciones de movilidad, la mayoría impulsadas por motores eléctricos.

El Capítulo 1 proporciona el marco teórico, donde se introduce el motor diésel y sus tipos según el ciclo de trabajo, el control de combustible, la disposición de los cilindros, el número de cilindros, y el sistema de entrada de aire. Además, se detalla el sistema que se encarga de proporcionar el combustible, incluyendo el sistema de inyección diésel y a los elementos encargados de la inyección como las bombas.

En el Capítulo 2, se profundiza en los fundamentos de las bombas de inyección, abarcando temas como la alimentación de motores MEC, inyección multipunto y mono punto, inyección directa e indirecta, y las alternativas de movilidad eléctrica. También se describen los elementos que conforman los sistemas de absorción a diésel, la importancia y funciones del sistema de absorción, y los sistemas de alimentación de alta y baja presión.

El Capítulo 3 tiene enfoque en el diseño de la estructura del banco didáctico, incluyendo el desarrollo de simulaciones, los criterios de construcción, y el análisis de fuerzas y momentos de reacción.

El Capítulo 4 describe el proceso de construcción del banco didáctico de bombas de inyección a diésel, explicando la estructura del prototipo y detallando cada paso del proceso de construcción.

El Capítulo 5 presenta un manual de instrucciones para el funcionamiento del banco didáctico, que incluye precauciones eléctricas, de seguridad, una guía de uso, y pautas de mantenimiento y cuidado. Además, se describen las características de construcción, el peso y dimensiones de las bombas, y los cuidados necesarios al manipular el banco.

Finalmente, las secciones de conclusiones y recomendaciones ofrecen un resumen de los hallazgos en el proceso de construcción y sugerencias para futuras investigaciones o mejoras en el área de la movilidad eléctrica y el uso de motores diésel.

## **PROBLEMA**

Los recursos didácticos en las áreas técnicas son de gran importancia por su aporte adicional o complemento al aprendizaje y adquirir la suficiente experiencia práctica cuando se inserte al mundo laboral, debido a que el estudiante adquiere habilidades o conocimiento para un correcto diagnóstico y la debida reparación de estas bombas para los MEC. (Salas, 2009), realizó una encuesta a los estudiantes del I.T.S.A con la siguiente pregunta: ¿Cree usted que un laboratorio bien equipado es fundamental para comprender claramente la materia?, donde, el 80% respondió SI y el 20% NO. Otra de las preguntas es: ¿Cree usted que la implementación de un banco didáctico de antorchas o inyectores en el laboratorio de mecánica contribuiría a reforzar los conocimientos adquiridos?, donde, el 92% contestó SI y el 8% NO, por lo tanto, con estos porcentajes de respuestas, se puede decir que es fundamental contar con este tipo de herramientas educativas, las cuales contribuyen a una mejor enseñanza y proceso de formación de los estudiantes. Contar con el mayor número posible de bancos didácticos, permite que más estudiantes puedan trabajar en actividades prácticas, maximizando su tiempo de aprendizaje y práctica en el laboratorio. Esto evita la congestión en el laboratorio y permite que los estudiantes aprovechen sus horas de prácticas, optimizando así su experiencia de aprendizaje.

En el contexto actual de la industria automotriz, se observa un cambio significativo en las tecnologías de inyección utilizadas en los motores diésel. Con el avance tecnológico, las tradicionales bombas rotativas mecánicas están siendo reemplazadas progresivamente por bombas electrónicas y lineales, que ofrecen mayor precisión y eficiencia en la inyección de combustible. Este cambio hacia tecnologías más avanzadas y complejas presentan un desafío adicional para los estudiantes de Ingeniería Automotriz. A medida que estas nuevas tecnologías ganan espacio en la industria, es importante que los estudiantes obtengan más bases técnicas y practicas conocimientos y habilidades para familiarizarse con estos equipos y sistemas modernos. Esto implica no solo comprender los principios de funcionamiento de las bombas electrónicas y lineales, sino también dominar su operación, diagnóstico y mantenimiento.

Ecuador desde el año 2022 hasta el año 2023 sufrió un decrecimiento de ventas de vehículos a gasolina del 72% al 69% y un aumento en las ventas de vehículos con Motores de Encendido por Compresión (MEC) que usan como combustible el diésel llegando a ocupar un 24% de todas las ventas (AEADE, 2023).

La camioneta preferida por los usuarios es la Chevrolet D-Max con un total de 4447 unidades vendidas en el Ecuador durante enero y junio del 2023 y al estar equipada con una bomba de inyección rotativa justifica la necesidad de conocer su funcionamiento por medio de un banco didáctico.

En cuanto a la importancia del desarrollo del proyecto, tiene implicaciones tanto en el ámbito social como ambiental. En lo social, aportando un complemento a la educación y sus cátedras de profesionalización de carrera de Ingeniería Automotriz que les permitan mejorar sus habilidades, conocimientos y experiencia práctica, permitiéndoles comprender y relacionarse de forma más directa con las bombas de inyección, no solo con diapositivas y de esta manera integrar los conocimientos teóricos adquiridos con la práctica, lo que resulta en una comprensión más profunda que les servirá para enfrentar problemas o desafíos reales en el campo laboral, además de contribuir así al desarrollo tecnológico de la región. Los beneficios para la universidad implementando nuevos bancos didácticos, mejorarán la calidad en la educación, lo que se traduce en el mejoramiento de la dinámica de la clase por tanto un mayor interés y atracción a nuevos estudiantes que deseen estudiar la carrera de Ingeniería Automotriz, al poseer un taller completo o con el mayor número de herramientas modernas accesibles hacia el estudiante, además de contribuir a la reputación y prestigio de la Universidad Politécnica Salesiana.

En lo que se refiere al impacto ambiental, las bombas tanto rotativas como lineales en mal estado por falta de mantenimiento provoca contaminación hacia el medioambiente por medio del desprendimiento excesivo de humo, provocado por los costos altos de mantenimiento, los cuales no son accesibles para todos los usuarios (Mafla Yépez & Martínez Núñez, 2011).

### **Delimitación del problema**

El proyecto se llevará a cabo en la Universidad Politécnica Salesiana sede Quito Campus Sur, En los laboratorios de la carrera de Ingeniería Automotriz. Este lugar cuenta con el espacio y las facilidades necesarias para el desarrollo del banco didáctico, así como el equipo y las herramientas requeridas para su construcción.

El desarrollo se llevará a cabo durante el periodo enero hasta junio 2024 Este plazo incluye todas las fases del proyecto, desde la adquisición de las bombas, diseño del banco didáctico, construcción, instalación de componentes, pruebas y validación del sistema.

## **Objetivo General**

Diseñar y construir un banco didáctico funcional para el estudio de bombas lineales y rotativas en motores (MEC), con enfoque mecánico y electrónico, para fortalecer la formación práctica de los estudiantes de la carrera de Ingeniería Automotriz.

## **Objetivos Específicos**

- Recopilar información necesaria para análisis de los componentes y el funcionamiento de las bombas de inyección utilizadas en los motores diésel, con el fin de obtener una comprensión detallada de su operación.
- Utilizar CAD para elaborar el diseño de la estructura del banco didáctico, asegurando una representación precisa y funcional.
- Construir el banco didáctico de acuerdo con el diseño previamente elaborado, empleando materiales apropiados que garanticen su durabilidad y funcionalidad.
- Elaborar un manual de instrucciones para el funcionamiento del banco didáctico y guías de para el desarrollo de prácticas de laboratorio.

# 1. MARCO TEÓRICO

## 1.1 Motor Diésel

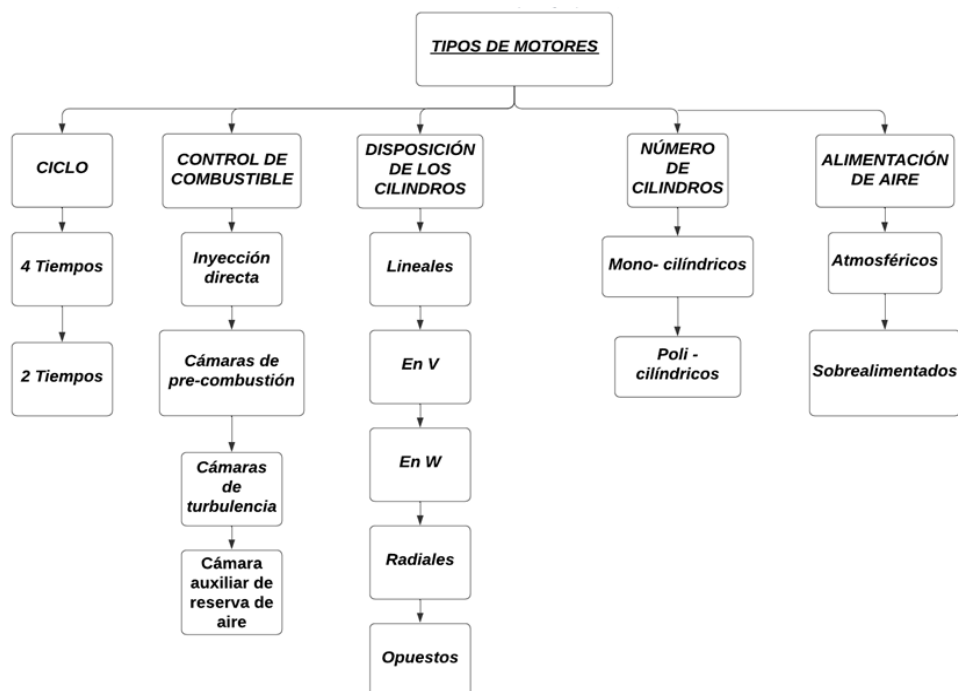
Se trata de un motor que funciona mediante la combustión interna que no requiere chispa para funcionar. La función básica se logra por autoignición a través de altas temperaturas provocadas por la alta presión de aire dentro del cilio, que se obtienen en la segunda etapa de la vida del pistón (Compresión). El material se enciende con una presión elevada dentro de la cámara de combustión, luego se atomiza y se combina rápidamente con el aire.

En comparación tanto los motores de gasolina como los motores diésel son capaces de generar valores de 45% a 55% de eficiencia, lo que les hace más eficientes. (Rodríguez Herrera, 2019).

## 1.2 Tipos de motores a diésel

Los motores a diésel se clasifican según el ciclo (4 tiempos o 2 tiempos), la forma de los cilindros (lineales, en V, en W, radiales u opuestos), el control de combustible (inyección directa, cámaras de pre-combustión, de turbulencia o auxiliares), el número de cilindros (monos o polis cilíndricos) y la alimentación de aire (atmosféricos o sobrealimentados), en la (Figura 1.1) se observa la clasificación de los tipos de motores diésel.

Figura 1.1: Tipos de motores a diésel.



Clasificación completa según algunos aspectos, Fuente: ( José Choez & Damián Lucas, 2024).

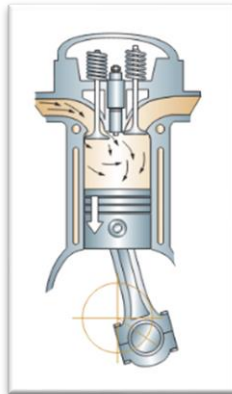
### 1.3 Según el ciclo de trabajo.

#### 1.3.1 Motor de 4 tiempos

El cigüeñal debe girar dos vueltas completas para completar un ciclo de trabajo. Esto se debe a que cada pistón gira cada 180 o. (Sanz, 2017), afirma que el motor debe realizar las siguientes acciones para completar un ciclo:

- **Admisión.** La válvula de admisión se abre, el pistón desciende y el aire ingresa al cilindro, llenándolo por completo.

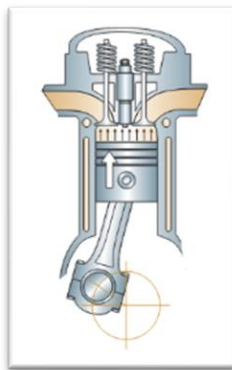
**Figura 1.2:** Proceso de admisión.



Primer tiempo o carrera del pistón, Fuente: (Sanz, 2017).

- **Compresión.** Con las válvulas cerradas, el pistón comprime el aire. La alta compresión produce temperaturas altas de 600 a 650 °C.

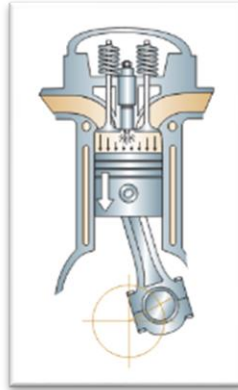
**Figura 1.3:** Proceso de compresión.



Segunda carrera del pistón, Fuente: (Sanz, 2017).

- **Explosión.** El pistón se empuja hacia abajo cuando el combustible se inyecta y se inflama. La presión permanece constante durante la combustión debido al aumento del volumen y la temperatura.

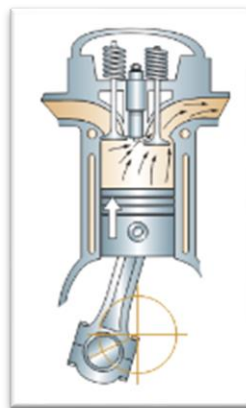
**Figura 1.4:** Proceso de explosión.



Tercera carrera del pistón, Fuente: (Sanz, 2017).

- **Escape:** La válvula de escape se abre y el pistón expulsa los gases de combustión dados en el motor.

**Figura 1.5:** Proceso de escape.



Cuarta carrera del pistón, Fuente: (Sanz, 2017).

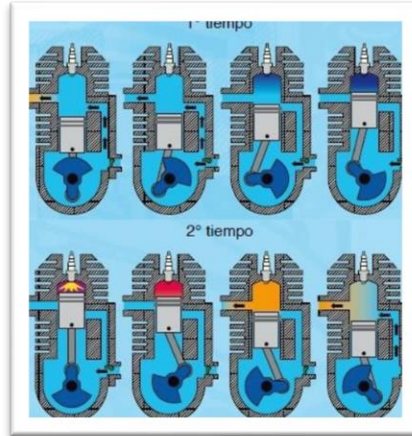
#### 1.4 Motor de 2 tiempos

- **Admisión y compresión.** Se lleva a cabo en la carrera inicial del pistón.
- **Explosión y escape.** Se producen durante la segunda carrera del pistón.

En la (Figura 1.6), se puede observar un motor de 2 tiempos.



**Figura 1.6:** Funcionamiento motor de 2 tiempos.



Proceso de cada uno de los 2 tiempos del motor, Fuente: (Campus Educativo).

## 1.5 Según al control de combustible del motor diésel

### 1.5.1 Inyección directa.

La cámara de combustión recibe combustible directamente.

### 1.5.2 Con cámaras de pre-combustión.

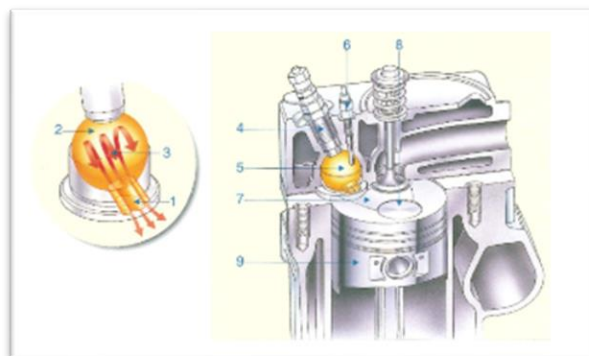
Antes de ingresar al cilindro principal, el combustible se inyecta en una cámara auxiliar.

### 1.5.3 Con cámaras de turbulencia.

Antes de ingresar al cilindro principal, el combustible se inyecta en una cámara auxiliar.

En la (Figura 1.7), se observa una cámara con turbulencia.

**Figura 1.7:** Cámara con turbulencia.



Control de combustible con cámara de turbulencia, Fuente: (Alzallú Soriano, 2015).

### 1.5.1 Con cámara auxiliar de reserva de aire.

El aire a presión se almacena y luego se libera cuando termina la combustión.

## 1.6 Según la disposición de los cilindros

### 1.6.1 En línea.

Un cilindro tras de otro en forma lineal.

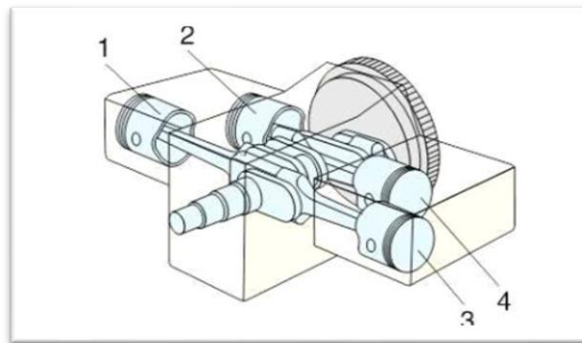
### 1.6.2 En forma de V.

Los cilindros están dispuestos en un ángulo específico formando una "V".

### 1.6.3 Cilindros opuestos.

Dispuestos en el bloque, los cuales forman un ángulo de 180, como se observa en la (Figura 1.8) un ejemplo de un motor con cilindros opuestos.

**Figura 1.8:** Cilindros opuestos.

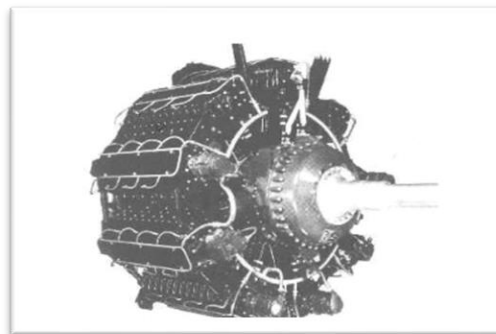


Motor con cilindros opuestos, Fuente: (Barreto Granda & Jiménez Estévez, 2013).

### 1.6.4 Cilindros radiales.

Los cilindros están dispuestos en configuración radial.

**Figura 1.9:** Cilindros en estrella.



Motor con cilindros radiales, Fuente: (Consuegra Pacheco, 2007).

### 1.6.5 En forma de W.

Dos bancadas en forma de "V" estrecha conectadas a un mismo cigüeñal.

### 1.7 Según el número de cilindros.

- **Mono cilíndricos.** El motor únicamente posee un solo cilindro.
- **Poli – cilíndricos.** Consta de dos o más cilindros.

### 1.8 Según el sistema de alimentación de aire.

- **Aspiración natural.** Los pistones se accionan y permiten la succión de aire.
- **Sobrealimentados.** Utilizan un turbocargador para introducir aire a mayor presión en los cilindros.

### 1.9 Sistema de alimentación de combustible.

El objetivo principal de este sistema es llevar el combustible al cilindro y mezclarlo con el aire en proporciones adecuadas. Sin este sistema, no solo sería imposible enviar combustible al cilindro, sino que también sería imposible medir adecuadamente la mezcla estequiométrica. Esto tendría un impacto negativo en el rendimiento del motor, aumentaría el consumo y tendría un funcionamiento general del motor deficiente. para obtener la combinación adecuada de aire y combustible.

#### 1.9.1 Sistema de inyección Diésel.

Aunque hay algunos vehículos, como los Mercedes 190 o 300, que están equipados con bombas tipo lineales para el sistema de inyección de combustible, la mayoría de los vehículos tipo turismo utilizan bombas tipo rotativas. Para lograrlo, se divide el sistema de alimentación de combustible en dos partes: una de presión baja y otra de presión alta.

- **Baja presión.** Este circuito consiste en el tanque de combustible y el colador de carburante, la bomba de alimentación, la válvula de presión y las cañerías. Este circuito recibe combustible a baja presión.
- **Alta presión.** Consta de inyectores, cañerías y una bomba de inyección a alta presión. El comburente se eleva a altas presiones antes de ser inyectado. (Cárdenas Ramos & Kaslin Duque, 2006).

Las bombas de transferencia de combustible o de absorción aspiran el carburante o combustible del depósito hacia la bomba de inyección a diferentes presiones a cualquier régimen de velocidad del motor para transportar el combustible que va del tanque a la bomba de inyección. Los motores a diésel incluyen:

- **Bomba de pistón:** Consta de un pistón o émbolo dentro y válvulas de aspiración y descarga. La función del pistón es producir vacío para que el combustible pueda penetrar en la bomba a una presión específica. (SENATI, 2006).
- **Bomba de engranajes.** El vacío es producido por los engranajes, lo que permite la entrada del combustible, para ser enviado posteriormente a la parte externa de la bomba a presión. El giro continuo de los engranes Suministra un flujo constante de combustible.
- **Bomba de membrana.** El cuerpo superior e inferior de la bomba están conectados por tornillos, los cuales aprietan el diafragma y provocan vacío para que el carburante entre a la bomba.
- **Bomba de paletas.** En su interior existen paletas que giran para producir la succión de combustible y posteriormente expulsarlo.

### **1.10 Bombas de inyección de combustible**

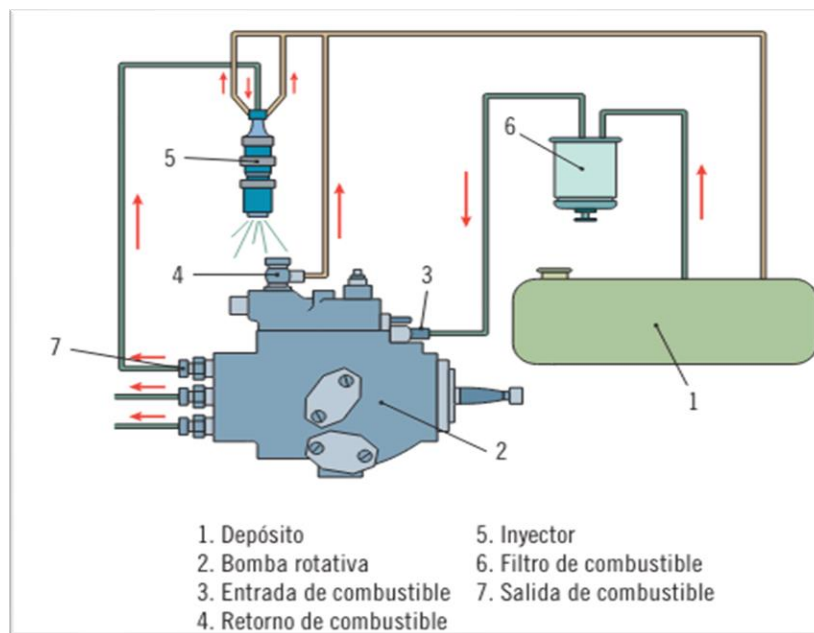
El funcionamiento de este dispositivo mecánico depende del desplazamiento del pistón dentro del cilindro. Su objetivo principal es aumentar la presión del combustible a la cantidad requerida, proporcionar la cantidad adecuada de diésel según la voluntad del motor y en el momento adecuado, y controlar las revoluciones del motor. (Castillo Medina & Silva Cortez, 2014).

#### **1.10.1 Bomba rotativa.**

Son aquellas bombas con un mecanismo de bombeo único que alimenta a todos los cilindros, proporcionándoles la cantidad adecuada de acuerdo con la secuencia de inyección utilizando un distribuidor giratorio o un cabezal hidráulico. En contraste con los motores de vehículos industriales, este tipo de bombas son adecuadas para motores de automóviles porque permiten alcanzar altas velocidades de rotación. Estas bombas se clasifican según la organización de los componentes de bombeo, que pueden ser radiales o axiales. En la (Figura 1.10) se observa la bomba rotativa y su sistema de alimentación de combustible.

- **Radial con anillo de levas:** Tiene dos o cuatro émbolos radiales en lugar del disco de levas para generar altas presiones. Se obtienen presiones de inyección más altas que una axial.
- **Axial:** El motor el motor acciona un disco de levas que gira. El número de levas del motor está relacionado con el número de cilindros. Una vuelta del eje de accionamiento del émbolo equivale a la cantidad de carreras que se requieren para alimentar los cilindros. (Berger, 2002).

**Figura 1.10:** Circuito de alimentación bomba rotativa.



Circuito de alimentación, Fuente: (Educate, s.f.).

El circuito está formado por un depósito cuya función principal es almacenar combustible. El material que se usa no debe admitir humedad y debe ser resistente a la corrosión y al estancamiento. Se coloca lejos del motor para evitar que el combustible se inflame en caso de accidente. (González Gualdron, Mora Velásquez, & Vargas Gómez, 2016). La bomba alimentadora succiona el combustible a la presión adecuada, mientras que una válvula de descarga devuelve el exceso al depósito. La bomba de inyección, conectada a la bomba de alimentación, tiene como función principal generar altas presiones para transportar y distribuir el combustible a través de un filtro.

Una cuya función principal es almacenar combustible, forma el circuito. El material que se usa debe ser resistente a la corrosión y al estancamiento y no admitir humedad. Se coloca lejos del motor para evitar que se inflame el combustible en caso de siniestros. En el año 2016, Gonzales Gualdron, Mora Velásquez y Vargas Gómez participaron. El combustible

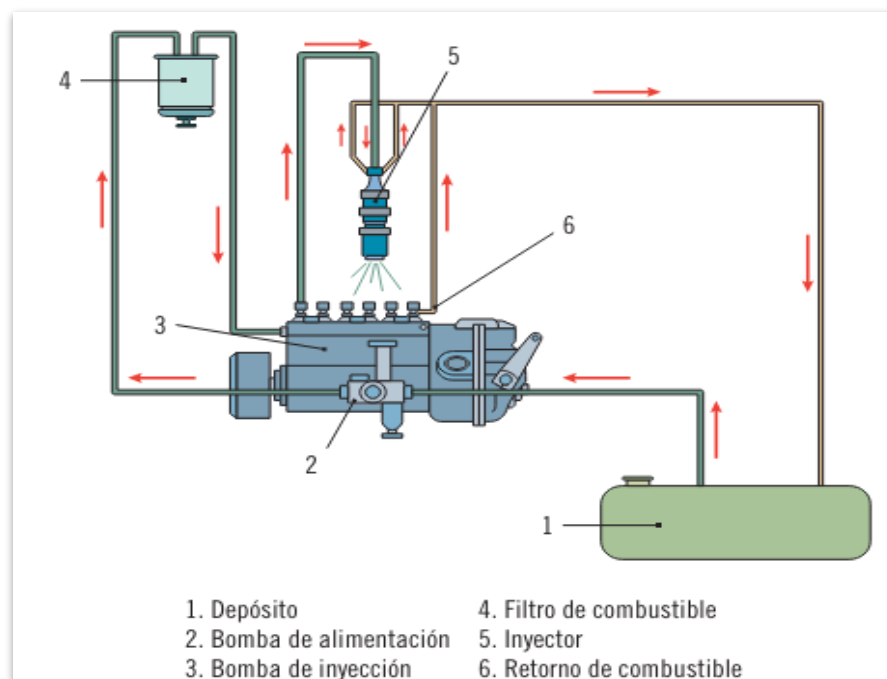
se aspira a una presión adecuada por la bomba de alimentación, y una válvula de descarga devuelve el combustible sobrante al depósito.

### 1.10.2 Bomba lineal.

Las diferencias de estas bombas radican en que tienen un mecanismo de bombeo específico para cada cilindro del motor. Este mecanismo es el que se encarga de enviar la dosificación correcta y aumentar la presión del combustible. Las bombas rotativas no pueden proporcionar la misma presión de inyección. Además, pueden ajustar individualmente el caudal de cada cilindro, lo que resulta en un sistema muy preciso. Estas bombas son más costosas de mantener que las bombas rotativas debido a su tamaño y confiabilidad.

En la (Figura 1.11), se observa el circuito de alimentación de una bomba lineal.

**Figura 1.11:** Circuito de alimentación bomba lineal.



Circuito de alimentación, Fuente: (Lucín Figueroa, 2019).

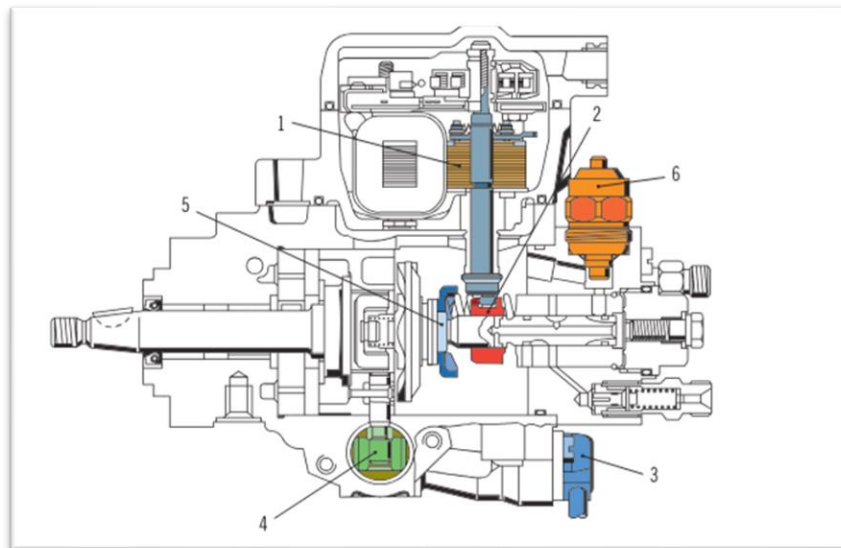
### 1.10.3 Bombas de dosificación electromecánicas (EDC).

Se refieren a las bombas en las que el sistema de dosificación y el inicio de inyección se realizan electrónicamente. Esto conserva el mecanismo de la bomba mecánica original y permite una dosificación más flexible y precisa. Se las conoce de la misma manera que la bomba mecánica, pero ahora incluyen "EDC" (Control Electrónico de Diésel). Además,

estas bombas tienden a ser lineales o rotativas. En comparación con la bomba original, solo mantienen los elementos que se encargan de bombear y distribuir combustible. (Rodríguez Herrera, 2019).

En la (Figura 1.12), se observa los elementos que conforman una bomba rotativa electrónica.

**Figura 1.12:** Bomba rotativa electromecánica BOSCH.



Fuente: (Educate, s.f.).

**Tabla 1.1:** Componentes bomba electromecánica BOSCH.

En la (Tabla 1.1), se observa los elementos de la de la bomba electrónica BOSCH.

1	Actuador eléctrico
2	Collarín de control
3	Electroválvula de control de presión
4	Actuador de reglaje
5	Sensor goniométrico
6	Electroválvula de corte de combustible

Fuente (José Choez & Damián Lucas, 2024).

## CAPÍTULO 2

### 2. FUNDAMENTOS DE LAS BOMBAS DE INYECCIÓN

#### 2.1 Introducción a la Alimentación de motores MEC.

La inyección mecánica fue originalmente utilizada, pero ahora incluso los motores diésel usan inyección electrónica. Los sistemas de inyección se clasifican en tres categorías:

##### 2.1.1 Inyección multipunto y mono punto.

Para reducir costos, en ocasiones se utiliza un único inyector (monopunto) para todos los cilindros en lugar de un inyector individual para cada cilindro (multipunto). Sin embargo, la inyección monopunto ha quedado obsoleta en la mayoría de los países debido a las estrictas normas anticontaminación. (Sistema de Alimentación Diésel, 2019).

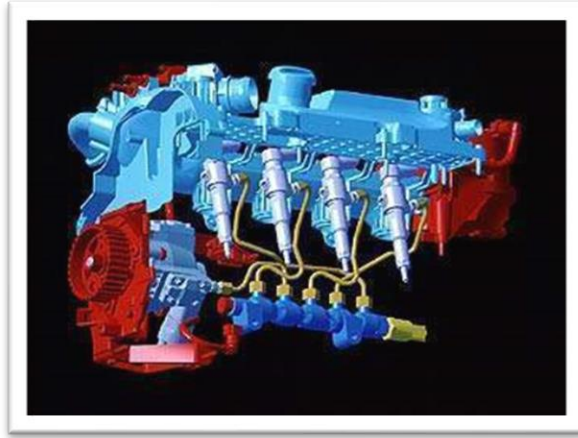
##### 2.1.2 Directa e indirecta.

Se inyecta en una cámara auxiliar conectada a la cámara principal de combustión, que normalmente están dentro de las cabezas de los pistones en inyecciones directas, se denomina inyección indirecta, (Sistema de Alimentación Diésel, 2019).

En la (Figura 2.1), se observa la alimentación de combustible de un motor diésel.

**Figura 2.1:** Alimentación de motores MEC.





Sistema de inyección directa, Fuente: (Taller Actual, 2020).

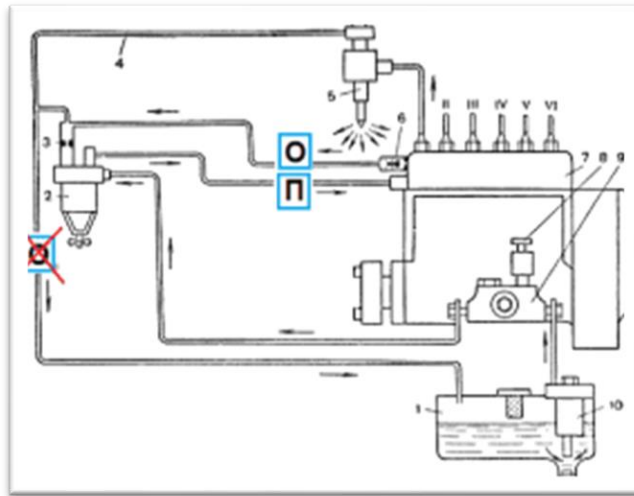
Las principales ventajas de la inyección electrónica son evidentes gracias a los avances en electrónica moderna. Hoy en día, es crucial destacar que todos los sistemas de control electrónico de inyección (conocidos como ECU o ECM) también se encargan del encendido del motor durante el proceso de combustión. Además de ajustar el patrón de inyección para todas las condiciones de carga y velocidad del motor, este sistema tiene técnicas como la supresión de encendido durante la aceleración (para prevenir sobre revoluciones), la interrupción de inyección cuando el vehículo se encuentra detenido con el motor encendido o durante la desaceleración para mejorar la retención, reducir el consumo de combustible innecesario y, lo más importante, disminuir la contaminación ambiental.

Debido a que en los motores diésel el combustible debe mezclarse rápidamente y el cilindro solo contiene aire durante las fases de admisión y compresión, es crucial que el combustible esté altamente atomizado. Al final de la fase de compresión, el aire alcanza altas presiones y temperaturas, lo que facilita la combustión del combustible al ser inyectado. Debido a las elevadas presiones en la cámara de combustión, se han desarrollado sistemas como el bomba-inyector y el common rail para mejorar la eficiencia, reducir el consumo de combustible y minimizar la contaminación. (Albert, 2020).

En los motores diésel, una bomba de alimentación extrae el combustible del tanque y lo envía a la bomba de inyección. Sin embargo, en ciertos motores, la bomba de inyección se encarga de succionar directamente el combustible del tanque. Un filtro de combustible, situado en serie entre la bomba de alimentación y la bomba de inyección, impide que las partículas sólidas bloqueen los componentes de presión de la bomba de inyección o los orificios de salida de las toberas de inyección. (Albert, 2020).

En la (Figura 2.2), se puede observar el sistema de alimentación.

**Figura 2.2:** Sistema de alimentación.

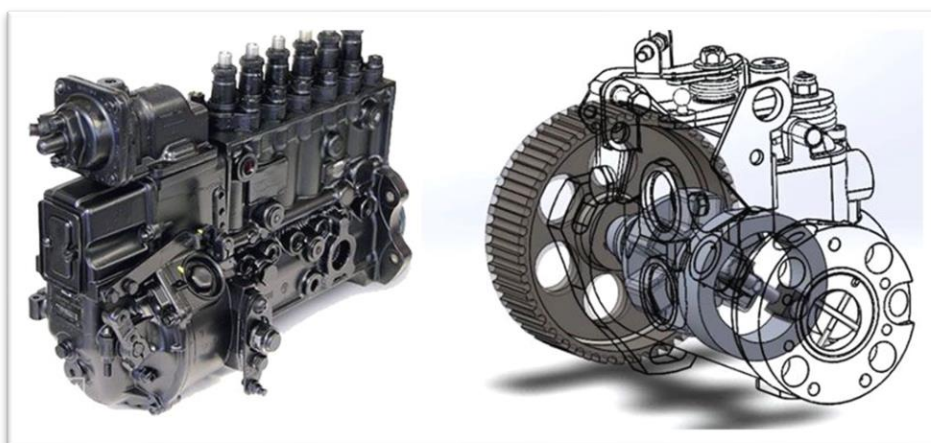


Circuito de alimentación, Fuente: (Mechatronics, 2018).

Para eliminar el agua que el combustible podría haber atrapado en el sistema de alimentación, el recipiente del filtro a menudo funciona como un separador de agua. Los filtros comúnmente empleados son de tipo cartucho de papel, diseñados con una superficie de filtrado amplia. (Albert, 2020).

En la (Figura 2.3), se observa la bomba lineal y rotativa.

**Figura 2.3:** Bombas de inyección lineal y rotativa.



Bombas de inyección diésel, Fuente: (Ingeniería y mecánica automotriz, 2019).

## 2.2 Partes del sistema de alimentación de Diésel

La configuración del sistema de alimentación de combustible en vehículos diésel es similar a la de los motores de gasolina, pero se distingue por el uso de inyectores, tuberías y una bomba de inyección diseñados para operar a alta presión. Componentes adicionales incluyen una válvula de rebosadura, varios filtros de aire y un filtro de combustible. (Sistema de alimentación de combustible, 2019).

### **2.2.1 Bomba de inyección**

Esta bomba se encarga de presurizar el combustible y distribuirlo de manera sincronizada y dosificada a cada uno de los inyectores ubicados sobre los cilindros. (Sistema de alimentación de combustible, 2019).

### **2.2.2 Porta inyector**

Conectado al inyector y ubicado en el bloque o culata, este componente asegura la presión adecuada para la aguja del inyector, facilita la atomización del combustible y permite la

evacuación del diésel sobrante. (Sistema de alimentación de combustible, 2019).

### **2.2.3 Inyector**

El inyector tiene la función de atomizar el combustible y distribuirlo uniformemente junto con el aire comprimido o directamente sobre el cilindro. El combustible, controlado por una aguja, pasa a través de los orificios del inyector. La presión supera la resistencia del resorte de la aguja, permitiendo la inyección del combustible. (Sistema de alimentación de combustible, 2019).

### **2.2.4 Líneas de combustible**

Estas son líneas de alta presión que conectan la bomba de inyección con los inyectores, llevando el combustible a presiones de hasta 5000 psi. Además, una línea media conecta la bomba con los filtros y la bomba de inyección, mientras que líneas de baja presión conectan el tanque de combustible con la bomba y retornan el exceso de combustible desde los inyectores al tanque. (Sistema de alimentación de combustible, 2019).

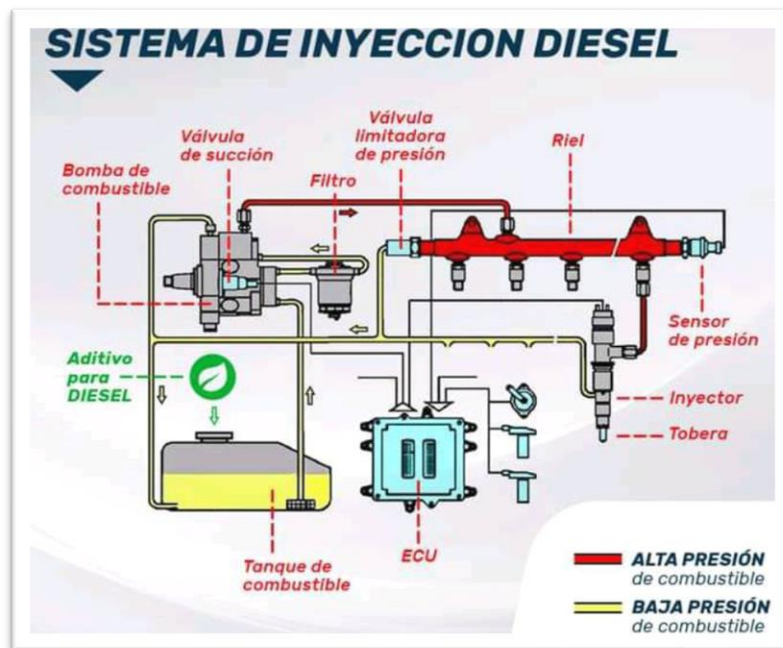
## **2.3 Importancia y funciones del sistema de alimentación.**

- Suministrar y mezclar la dosis necesaria de aire y carburante para realizar una mezcla homogénea e inflamable.
- Distribuya esa mezcla de manera uniforme entre los diferentes contenedores.

- Producir carburante mediante pulverización o desintegración para crear una mezcla de carburante homogénea.
- Participar en la acción de mezclado en algunos motores diésel.
- Controlar dicha mezcla y la explosión resultante en su punto exacto para maximizar el rendimiento y la economía.

En la (Figura 2.4), se observa lo elementos que conforman un sistema de inyección.

**Figura 2.4:** Elementos del sistema de inyección diésel.



Sistema de inyección, Fuente: (Sistema de inyección diésel, 2017)

El aspecto más importante de la preparación del motor es la alimentación. (Prenninger, 2007). El sistema de alimentación nos presenta problemas que pueden ser engañosos. Porque el circuito de alimentación no está conectado a la puesta en marcha del motor, no es obvio que este sistema pueda ser la causa del mal funcionamiento del motor. Como resultado, debemos comprender cada una de sus variantes en preparaciones y cómo afectan el funcionamiento del motor original. (Ganesan, 2012).

#### 2.4 Sistemas de alimentación de alta y baja presión

Los motores MEC son motores de encendido por compresión. Los dos componentes principales son el sistema de alta presión y el sistema de baja presión. (Alvarez, 2018).

Los motores MEC son motores de encendido por compresión. Los dos componentes principales son el sistema de alta presión y el sistema de baja presión. (Alvarez, 2018).

La función principal del sistema de alta presión es proporcionar combustible a los inyectores del motor a una presión elevada. Esto se hace a través de una bomba específica que lleva el combustible desde el tanque hasta los inyectores. Esta bomba tiene función de manera mecánica o eléctrica, y su función principal es mantener el combustible a la presión adecuada para la inyección en los cilindros. (Alvarez, 2018).

Este sistema usa bombas de accionamiento mecánico o eléctrico que mantienen el combustible a la presión correcta para suministrarlo a la bomba inyectora. (Alvarez, 2018).

## **2.5 El propósito del sistema alimentario**

Estos motores se alimentan de aire inyectando aire completamente filtrado en el cilindro; luego, utilizando compresión, inyectamos combustible (diésel en este caso) a alta presión y mezclamos los dos en la cámara de combustión. (Alvarez, 2018). El aire se inyecta dentro de la cámara de combustión bajo condiciones de alta presión (150 a 300 atmósferas) y se comprime en la cámara de combustión a alta presión (36 a 45 kg para alcanzar la temperatura adecuada para que el combustible se quemara (hasta 600 °C). 300 atmósferas).kg/)). Este inyector tiene ajustes precisos para la dosis de combustible y el lapso de inyección, lo que garantiza un buen rendimiento del motor. (Alvarez, 2018).

## **2.6 Circuitos de alta y baja presión**

### **2.6.1 Circuito de baja presión**

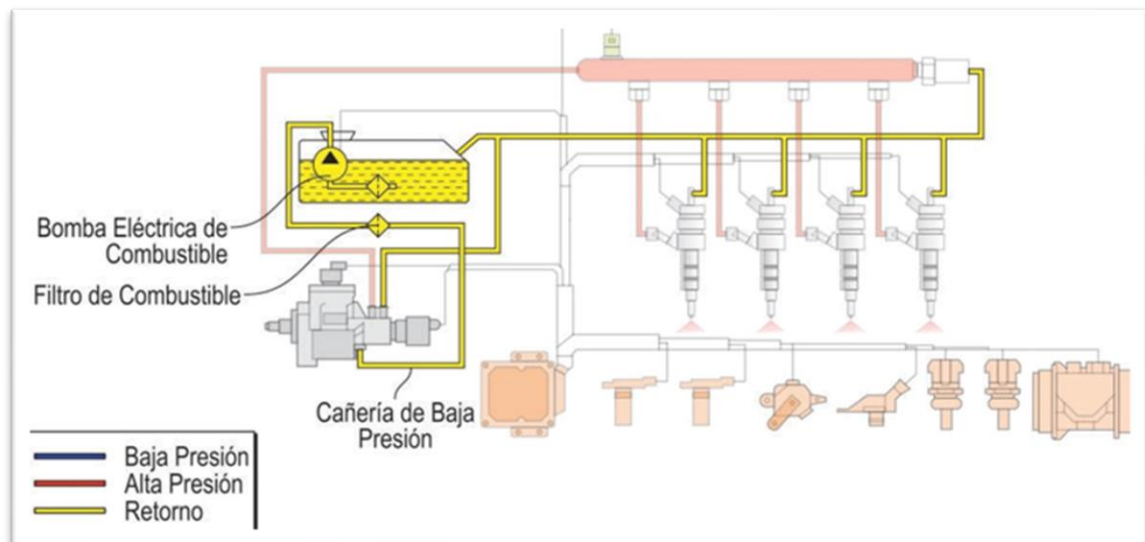
La bomba de inyección recibe combustible del depósito. (Alvarez, 2018).

En la (Figura 2.5), se observa el circuito de baja presión.

#### **Elementos del circuito de baja presión**

- Depósito de diésel.
- Bomba de agua.
- Un filtro para el combustible.
- Tuberías que transportan combustible a baja presión.
- Canales para el retorno del combustible.

**Figura 2.5:** Circuito de baja presión.



Esquema del sistema de baja presión de combustible, Fuente: (Alvarez, 2018).

### 2.6.2 Circuito de alta presión.

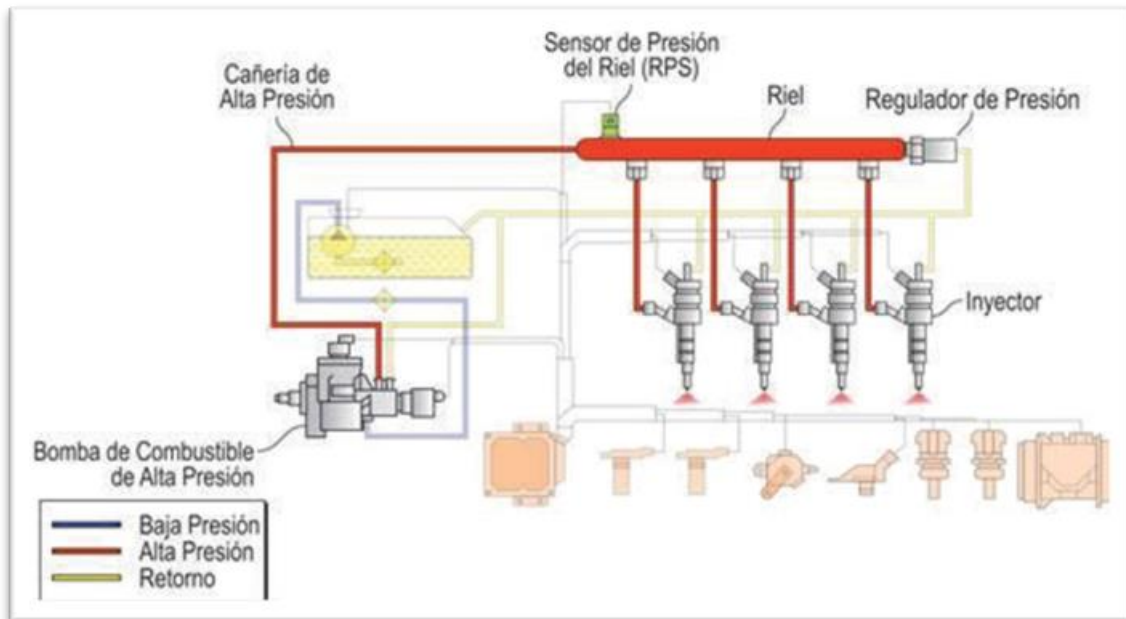
Transporta combustible a presiones elevadas (hasta 160 MPa) desde la bomba de inyección hasta los inyectores. En el sistema de alta presión representado en la (Figura 2.6), los conductos que conectan la bomba de inyección con los inyectores están fabricados siempre en acero debido a las altas presiones a las que el combustible está sometido durante el funcionamiento del motor. Es crucial que estos conductos tengan la misma longitud entre sí para asegurar un ajuste preciso en cada cilindro y una distribución uniforme del combustible en todos los inyectores, garantizando así que no haya variaciones en el punto de inyección entre los cilindros. (Alvarez, 2018).

#### Elementos de circuito de alta presión.

- Una bomba de alta presión.
- Válvula para ajustar la presión del combustible.
- Cañerías que contienen combustible a alta presión.
- Un acumulador de presión o un riel.
- Sensor de presión para el riel.

En la (Figura 2.6), se observa cómo está compuesto un circuito de alta presión.

**Figura 2.6:** Circuito de alta presión.



Esquema del sistema de alta presión de combustible, Fuente: (Alvarez, 2018).

## 2.7 Sistemas modernos de alta presión

Se han desarrollado sistemas como el tubo común y el elemento bomba-inyector para mejorar el rendimiento, el consumo y las emisiones se dan por las presiones que maneja los motores diésel. (Sistema de Alimentación Diésel, 2019).

### 2.7.1 Common-rail

Usa bomba que opera a presiones elevadas para mantener el combustible a presión en una cañería común, también conocido como canal. El combustible se pulveriza a través de inyectores controlados electrónicamente. (Ingeniería y Mecánica Automotriz, 2020).

### 2.7.2 Bomba-inyector

Para cada cilindro, combina la función de la bomba de alta presión y el inyector en la misma unidad. En estos sistemas, la ECU controla electrónicamente la presión y el volumen de carburante inyectado en cada momento, lo que optimiza el funcionamiento del motor. (Ingeniería y Mecánica Automotriz, 2020).

## 2.8 Bombas mecánicas de inyección diésel: lineales y rotativas

### 2.8.1 Lineales

Esta bomba está configurada con conjuntos de bombas equivalentes al número de cilindros del motor. El combustible ingresa a un colector donde se encuentran las entradas de cada conjunto de bombas. Cada conjunto incluye un cuerpo de bomba y un pistón, los cuales son

activados por una leva correspondiente a cada cilindro. Estas levas están montadas en un árbol de levas que recibe movimiento del cigüeñal a través de engranajes de distribución o correas dentadas. En la parte superior de los pistones de la bomba de inyección, hay una ranura vertical seguida de un corte biselado. Estas ranuras están ubicadas estratégicamente para regular la cantidad de combustible diésel que la bomba de inyección suministra. (Jhonny, Wellington, Elizabeth, & Maria, 2019).

El cuerpo de la bomba de combustible se llena cuando el pistón está en su posición más baja, empujado por un resorte. Cuando la leva impulsa el pistón, este comprime el combustible diésel y, al vencer la resistencia de la válvula correspondiente, lo envía hacia el inyector. (Jhonny, Wellington, Elizabeth, & Maria, 2019).

**Figura 2.7:** Bomba de inyección lineal.



Bomba lineal diésel, Fuente: (Construex, 2020).

### **2.8.2 Funcionamiento de la bomba lineal diésel.**

Al girar el árbol de levas, se activan los taqués y los pistones dentro de los cilindros de la bomba. Cuando se presiona el acelerador, la cremallera se mueve, haciendo girar el husillo helicoidal y aumentando el suministro de carburante a los cilindros de la bomba. Los pistones distribuyen el combustible hacia cada inyector en la cámara de combustión del motor. Cada componente (taqué y pistón) de la bomba es controlado por su respectiva leva en el árbol de levas. En algunas configuraciones donde la bomba de elevación está integrada en la carcasa de la bomba de inyección, se emplea una leva adicional conectada directamente al árbol de levas. Este mecanismo opera de manera similar al conjunto de camisa y pistón de un motor estándar. El árbol de levas está acoplado a un dispositivo que asegura la

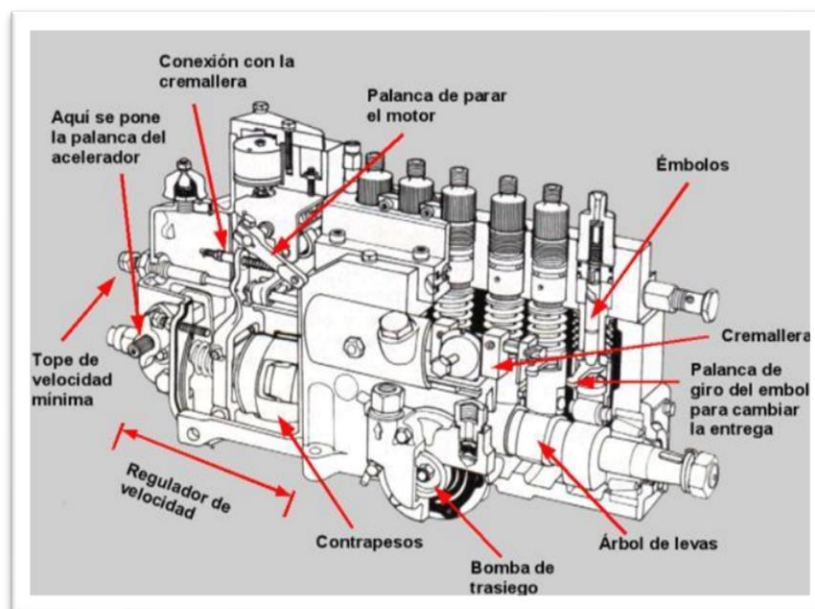


sincronización de la bomba con el funcionamiento del motor. (Jhonny, Wellington, Elizabeth, & Maria, 2019).

En la parte superior de la bomba de inyección, los pistones están equipados con una ranura vertical seguida de un corte biselado. Estas características están diseñadas para regular la cantidad de combustible diésel que la bomba de inyección suministra. Un resorte mantiene el pistón en su posición inferior, permitiendo que el cuerpo de la bomba se llene con diésel. Cuando la leva impulsa el pistón, este comprime el diésel y, al vencer la resistencia de la válvula correspondiente, lo envía hacia el inyector. (Jhonny, Wellington, Elizabeth, & Maria, 2019).

En la (Figura 2.8), se observa las partes de la bomba lineal mecánica.

**Figura 2.8:** Partes de la bomba Lineal mecánica.



Elementos de la bomba lineal, Fuente: (Cabrera, 2021).

### 2.8.3 Bomba alimentadora.

Los motores equipados con una bomba de inyección en línea necesitan una bomba de alimentación que entregue combustible al sistema a una presión de aproximadamente 1 bar para asegurar que los cilindros (elementos) de la bomba de combustible estén completamente llenos. Tanto la bomba de inyección como la bomba de alimentación operan simultáneamente durante todo el funcionamiento del motor diésel. (Macías, 2017).

**Figura 2.9:** Bomba alimentadora.



Partes de la bomba lineal, Fuente: (Bomba alimentadora de combustible diesel, s.f.).

#### 2.8.4 Árbol de levas.

Es el componente que impulsa los pistones de las bombas inyectoras mediante una serie de levas. Existen diferentes configuraciones de número de levas y cilindros de motor. Rodamientos especialmente diseñados para resistir altas temperaturas y fricción soportan estos mecanismos en la base de la bomba. El árbol de levas (Figura 2.10), está integrado en el sistema de distribución del motor, trabajando en sincronía con el cigüeñal para asegurar la adecuada dosificación de combustible hacia los cilindros. (Macías, 2017).

**Figura 2.10:** Árbol de levas.



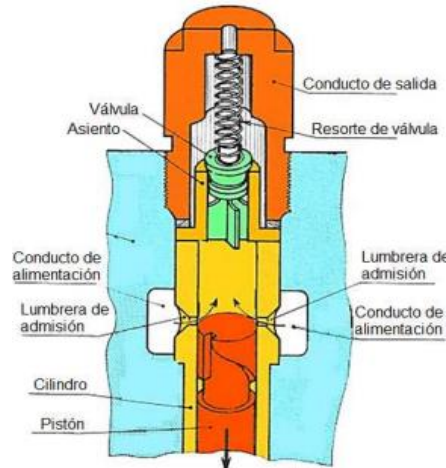
Árbol de levas de la bomba lineal, Fuente: (Árbol de levas, s.f.).

#### 2.8.5 Elementos de bombeo.

Los componentes de bombeo abarcan el pistón, el cilindro, las lumbreras, las válvulas, los asientos de las válvulas y los resortes de las válvulas, como se muestra en la (Figura 2.11). Para que el combustible llegue correctamente a los inyectores, estos componentes deben

trabajar juntos. Los pistones operan dentro de los cilindros mediante movimientos tanto axiales como rotacionales. (Macías, 2017).

**Figura 2.11:** Elementos de bombeo.

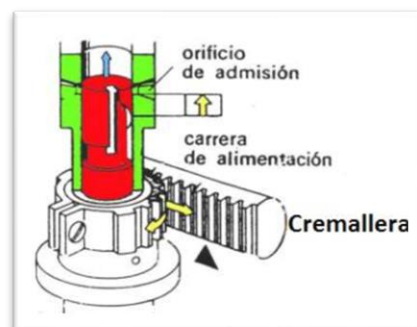


Elementos de bombeo en bombas de inyección lineal, Fuente: (Macías, 2017).

### 2.8.6 Cremallera de regulación.

Componente que regula el flujo de combustible desde la bomba de inyección en función del rendimiento del motor. Este sistema incluye tres tipos de inyección: máxima, parcial y nula, determinadas por el desplazamiento de la cremallera. Las lumbreras y canalizaciones dentro del sistema manipulan El desplazamiento axial-radial del pistón para regular la apertura y cierre del flujo de diésel, asegurando que la cantidad de combustible dosificado coincida con el recorrido de la cremallera sobre el pistón. Este movimiento está directamente ligado al pedal del acelerador. En la (Figura 2.12), se observa la cremallera de regulación.

**Figura 2.12:** Cremallera de regulación



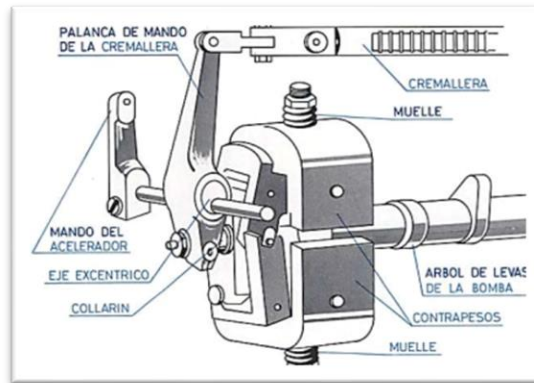
Cremallera, Fuente: (Macías, 2017).

### 2.8.7 Regulador de velocidad.

Los motores diésel no tienen el elemento de gases porque trabajan con exceso de aire y altas presiones. regular el rendimiento volumétrico del motor, por lo que se utiliza un regulador de velocidades para controlar la entrada de aire y la reducción del flujo si es necesario. (Macías, 2017).

En la (Figura 2.13), se observa el regulador de velocidad de la bomba lineal.

**Figura 2.13:** Regulador de velocidad.



Regulador de velocidad de la bomba lineal, Fuente: (Macías, 2017).

### 2.8.8 Bomba de inyección lineal con control electrónico.

La bomba de inyección es el componente encargado de hacer la dosificación de combustible a un motor diésel. Además de dosificar la cantidad de combustible, incrementa la presión de este para asegurar que los inyectores operen con precisión y regula las altas y bajas velocidades del motor. Este dispositivo es típicamente una bomba de pistones en línea, donde cada cilindro tiene su propio émbolo que alimenta combustible a los inyectores con diferentes caudales.

Es importante señalar que cada inyector está directamente conectado a un elemento de la bomba, y que el árbol de levas, un componente crucial dentro de la bomba toma el movimiento del motor para activar los taqués y luego los émbolos.

La manga de control es un actuador electromecánico que forma parte de las bombas de inyección en línea. Este actuador está diseñado para controlar independientemente el inicio y la dosificación de carburante inyectado, respondiendo a las señales de los sensores que el procesador utiliza para ajustar la mezcla de manera óptima.

## 2.9 Tipos de Bombas Electrónicas Lineales.

### **2.9.1 Bombas de Inyector Unitario (UIS).**

Cada cilindro del motor tiene un actuador de inyección que está controlado electrónicamente. Estos actuadores están compuestos por un émbolo y un pistón que se mueven linealmente para inyectar combustible de manera directa en la cámara de combustión adecuada.

### **2.19.2 Bombas de Riel Común.**

Una bomba de alta presión alimenta a un riel o acumulador común, que luego lo distribuye a los inyectores de cada cilindro. Los inyectores, que están controlados electrónicamente, se activan por separado para inyectar combustible en el cilindro adecuado.

## **2.10 Elementos y Partes Clave.**

- Actuador de Inyección: consiste en un pistón y un émbolo que se mueven linealmente para inyectar combustible.
- Unidad de Control Electrónica (ECU): procesa las señales de los sensores y determina la hora y la cantidad de inyección.
- Sensores: Los sensores informan a la ECU sobre cosas como la posición del cigüeñal, la presión del riel y la temperatura del combustible.
- Válvulas de Control: El flujo de combustible hacia los actuadores de inyección.
- Filtro de Combustible: Antes de ingresar al circuito de inyección, el colador de combustible elimina las suciedades del combustible o carburante.

### **2.10.1 Ventajas de este sistema.**

- Este sistema contribuye a la reducción de las emisiones perjudiciales de gases de escape.
- Mejora la eficiencia en el consumo de combustible en diversas condiciones de operación.
- Mejora el arranque y la fase de calentamiento con precisión.

### **2.10.2 Funcionamiento.**

- El proceso se repite para cada cilindro, controlado continuamente por la ECU según las ordenes de operación del motor.
- La bomba de inyección recibe combustible del tanque.
- Las señales de los sensores son recibidas por la ECU, que luego determina el momento y la cantidad de inyección.
- Se transmite una señal eléctrica al actuador de inyección adecuado.

- Presiona el combustible hacia la cámara de combustión mediante las cavidades de la tobera mientras el actuador mueve el émbolo/pistón.
- Después de la inyección, el émbolo/pistón retrocede a su estado inicial para el siguiente ciclo. Cada cilindro repite el proceso y la ECU lo controla continuamente según las condiciones que tiene en funcionamiento del motor.

### **2.10.3 Bombas de inyección rotativas mecánicas.**

Dependiendo del número de cilindros del motor, la lumbrera de distribución se encarga de distribuir de manera eficiente el combustible hacia los inyectores. Este tipo de bombas son más livianas que las bombas lineales y se utilizan principalmente en automóviles de turismo, camiones, tractores y motores estacionarios. Los componentes más importantes de una bomba de inyección rotativa incluyen el eje de accionamiento, la válvula reguladora de presión, la bomba de alimentación, el disco de levas, entre otros.

### **2.10.4 Partes de la bomba de inyección rotativa.**

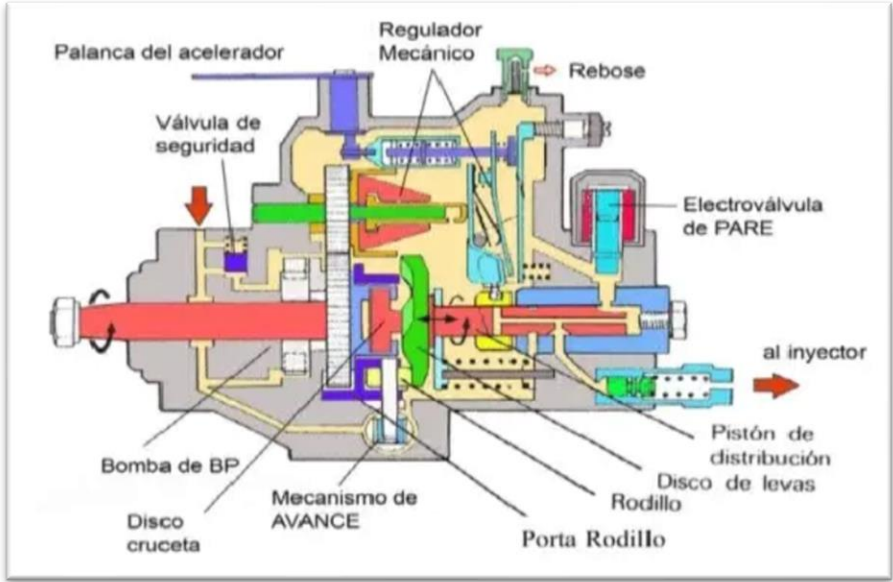
La estructura de una bomba rotativa difiere de la de una bomba lineal en cuanto al número de elementos de bombeo, que no coincide necesariamente con la cantidad de cilindros del motor. En la (Tabla 2.1), se observa las partes de la bomba de inyección rotativa.

**Tabla 2.1:** Partes de la bomba de inyección rotativa.

Partes de la bomba de inyección rotativa
Válvula reductora de presión
Bomba de alimentación
Plato porta-rodillos
Plato de levas
Muelle de retroceso
Pistón distribuidor
Corredera de regulación
Cabeza hidráulica
Rodillo
Eje de arrastre de la bomba
Variador de avance de inyección
Válvula de respiración
Cámara de combustible a presión

Partes que conforman una bomba de inyección rotativa, Fuente: (José Choez & Damián Lucas, 2024).

**Figura 2.14:** Partes de la bomba de inyección rotativa.



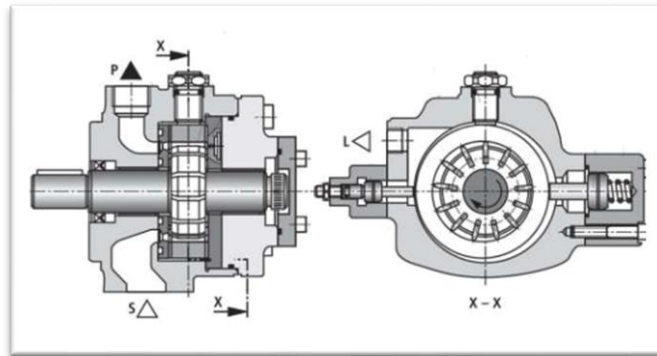
Elementos de la bomba rotativa, Fuente: (Garro, 2019).

**2.10.4 Bomba de combustible de aletas.**

La bomba de paletas de alimentación se encuentra integrada en la bomba inyectora rotativa y es impulsada por el eje de accionamiento. Su función es succionar combustible desde el depósito y dirigirlo hacia la bomba inyectora para su distribución. (Macías, 2017).

En la (Figura 2.15), se observa la bomba de paletas.

**Figura 2.15:** Bomba de combustible de aletas.



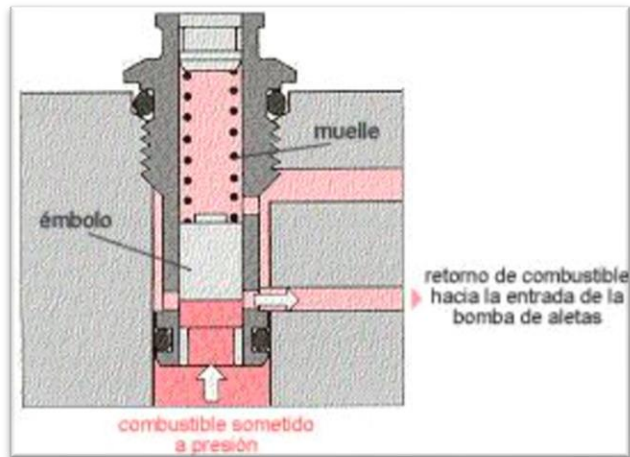
Bomba de paletas, Fuente: (Macías, 2017).

#### **2.10.5 Válvula reguladora de presión.**

El sistema puede enfrentar sobrepresiones a medida que aumentan las revoluciones del motor, lo que podría afectar adversamente el funcionamiento de la bomba y causar daños. Por esta razón, incorpora una válvula de regulación de presión ubicada después de la bomba de alimentación para controlar la presión. Esta válvula está equipada con un resorte que se comprime en caso de sobrepresión, permitiendo que el exceso de combustible retorne a la entrada de la bomba de alimentación a través de una ranura de retorno, asegurando así una presión adecuada en el sistema.(Macías, 2017), en la (Figura 2.16), se observa la válvula reguladora de presión.

**Figura 2.16:** Válvula reguladora de presión.





Bombas rotativas de inyección de émbolos radiales, Fuente: (Mora, 2018).

### 2.10.6 Disco de levas

Componente responsable de producir una alta presión en el circuito y distribuir carburante a los diversos cilindros. El tiempo que dura la inyección y la presión del combustible están directamente influenciadas por el disco de levas (Figura 2.17). (Macías, 2017).

**Figura 2.17:** Disco de levas.



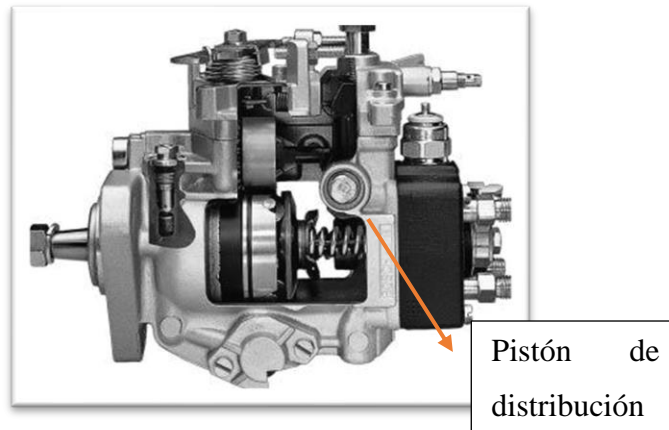
Fuente: (Disco de levas, 2019).

### 2.10.7 Pistón de distribución o plunger.

El componente encargado de distribuir combustible a los cilindros del motor es activado por el eje de accionamiento, que transmite movimiento al pistón mediante un sistema de acoplamiento entre ambos. El disco de levas actúa sobre el pistón para generar los movimientos de elevación, coordinando así el desplazamiento del émbolo tanto en el Punto Muerto Inferior (PMI) como en el Punto Muerto Superior (PMS), gracias al perfil específico del disco de levas y su interacción con los rodillos. (Macías, 2017).

En la (Figura 2.18), se observa la ubicación de un plunger.

**Figura 2.18:** Pistón de distribución o plunger.



Parte de la bomba rotativa, Fuente: (Gallo Pregliasco, 2021).

## **2.11 Bombas Electrónicas Rotativas.**

Algunos motores diésel modernos utilizan bombas electrónicas rotativas además de las bombas electrónicas lineales. Estas bombas combinan componentes giratorios con un control electrónico preciso para la inyección de combustible.

## **2.12 Tipos de Bombas Electrónicas Rotativas.**

### **2.12.2 Bombas de Distribuidor Electrónico (EDC - Electronic Distributor Pump).**

Las bombas de distribuidor electrónicos son rotativas y alimentan a los diferentes cilindros del motor con un elemento giratorio, como un pistón o una paleta. El control electrónico controla el tiempo y la cantidad de combustible que se envía a cada cilindro.

### **2.12.3 Bombas de Pistón Radial Electrónico (ERP - Electronic Radial Pistón Pump).**

Los pistones de estas bombas están dispuestos radialmente alrededor de un eje giratorio. Para bombear el combustible a los inyectores de cada cilindro, los pistones se deslizan hacia adentro y hacia afuera. El lapso y la cantidad de combustible son controlados por el comando electrónico.

## **2.13 Elementos y Partes de las Bombas Electrónicas Rotativas.**

### **2.13.1 Elemento Rotativo.**

Es la parte principal que produce la presión necesaria para inyectar el combustible. El tipo de bomba puede ser un pistón, una paleta o una serie de pistones radiales.

### **2.13.2 Unidad de Control Electrónica (ECU).**

La (ECU) es el corazón del circuito de inyección y es responsable de controlar el tiempo y la cantidad de combustible según las señales de los sensores.

### **2.13.3 Sensores.**

Los sensores como el sensor CKP, el sensor de presión del riel y el sensor de temperatura del combustible brindan a la ECU información crucial para controlar la inyección de manera precisa.

### **2.13.4 Válvulas de Control.**

Las bombas rotativas de inyección de diésel electrónicas dependen de las válvulas de control. Su función principal es regular el flujo de combustible hacia los inyectores de cada cilindro del motor desde la bomba rotativa.

## **2.14 Comprobaciones de bombas lineales y rotativas.**

### **2.14.1 Bombas Lineales Mecánicas.**

#### **2.14.2 Pruebas dinámicas.**

- Evaluación de presión de inyección: Se mide la presión de inyección en cada cilindro mediante manómetros conectados a los inyectores, comprobar que se encuentra dentro de los límites establecidos por el fabricante.
- Examen visual de la inyección: Se observa el patrón de inyección de cada inyector para identificar fugas, obstrucciones o desgaste excesivo.
- Verificación del avance de inyección: Se comprueba el momento de inyección de combustible en relación con la ubicación del cigüeñal, utilizando un comparador de avance.

#### **2.14.3 Pruebas Estáticas.**

- Inspección de componentes internos: Se desmonta la bomba y se examinan los pistones, émbolos, resortes, daños o fugas.
- Prueba de hermeticidad: Se aplica presión de aire o líquido a la bomba para detectar fugas en juntas y sellos.
- Prueba de recorrido de bombeo: Se mide el recorrido de bombeo de los émbolos o pistones para revisar que estén dentro de las especificaciones.

### **2.15 Bombas Lineales Electrónicas.**

### **2.15.1 Pruebas Dinámicas.**

- Diagnóstico con escáner: Se utiliza un escáner de diagnóstico para leer los códigos de falla y comprobar los parámetros de funcionamiento de la (ECU) y los sensores.
- Pruebas de respuesta del actuador: Se verifican los tiempos de respuesta y el movimiento de los actuadores electrónicos de inyección.
- Medición de presión de riel (bombas de riel común): Se comprueba la presión del riel común de combustible con manómetros especializados.

### **2.15.2 Pruebas Estáticas.**

- Verificación de cableado y conexiones: Se inspeccionan los cables, conectores y componentes eléctricos en busca de daños o corrosión.
- Prueba de resistencia de los actuadores: Se mide la resistencia eléctrica de los actuadores de inyección para detectar posibles fallas.
- Prueba de codificación de la ECU: Se verifica que la ECU esté correctamente codificada y programada según las especificaciones del fabricante.

## **2.16 Bombas Rotativas Mecánicas.**

### **2.16.1 Pruebas Dinámicas.**

- Evaluación de presión de inyección: Similar a las bombas lineales, se mide la presión de inyección en cada cilindro.
- Examen visual de la inyección: Se observa el patrón de inyección de cada inyector.
- Verificación del avance de inyección: Se comprueba el momento de inyección en relación con la posición del cigüeñal.

### **2.16.2 Pruebas Estáticas.**

- Inspección de componentes internos: Se desmonta la bomba y se examinan los elementos rotativos, como pistones o paletas, en busca de desgaste o daños.
- Prueba de hermeticidad: Se aplica presión de aire o líquido para detectar fugas.
- Prueba de holguras y ajustes: Se comprueban las holguras y ajustes de los componentes internos de acuerdo con las especificaciones del fabricante.

## **2.17 Bombas Rotativas Electrónicas.**

### **2.17.1 Pruebas Dinámicas.**

- Diagnóstico con escáner: Se utiliza un escáner para leer códigos de falla y comprobar la ECU y los sensores.
- Pruebas de respuesta de la válvula de control: Se verifica el funcionamiento y los tiempos de respuesta de los mandos de control electrónicas.
- Evaluación de la presión de inyección: cada cilindro tiene su propia presión de inyección midiendo.

### **2.17.2 Pruebas Estáticas.**

- Verificación de cableado y conexiones: Se inspeccionan cables, conectores y componentes eléctricos.
- La prueba de resistencia de las válvulas de control mide su resistencia eléctrica.
- Prueba de codificación de la ECU: verifica que la ECU haya sido programada y codificada correctamente.

## **CAPÍTULO 3**

### **3. DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DEL BANCO DIDÁCTICO.**

#### **3.1 Diseño de construcción de la estructura del banco didáctico.**

El diseño de un banco didáctico implica la creación de una estructura que permita a los estudiantes interactuar con componentes reales y obtener experiencia práctica en el área específica que se está enseñando.

En la (Figura 3.1), se observa el diseño considerado para análisis y construcción.

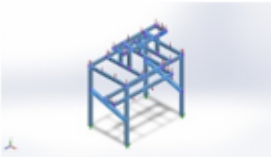
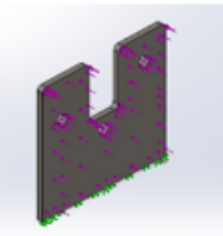
**Figura 3.1:** Diseño del banco didáctico.



Bosquejo del banco didáctico, Fuente: ( José Choez & Damián Lucas, 2024).

La (Tabla 3.1) presentan las características y usos de un material particular: el acero ASTM A36. Estas características subrayan la resistencia y elasticidad del acero ASTM A36 que se escogió para la construcción de la estructura, lo que lo hace adecuado para soportar cargas sustanciales y resistir deformaciones.

**Tabla 3.1:** Propiedades de material.

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	<p><b>Nombre:</b> ASTM A36 Acero</p> <p><b>Tipo de modelo:</b> Isotrópico elástico lineal</p> <p><b>Criterio de error predeterminado:</b> Tensión de von Mises máx.</p> <p><b>Límite elástico:</b> 2,5e+08 N/m<sup>2</sup></p> <p><b>Límite de tracción:</b> 4e+08 N/m<sup>2</sup></p> <p><b>Módulo elástico:</b> 2e+11 N/m<sup>2</sup></p> <p><b>Coefficiente de Poisson:</b> 0,26</p> <p><b>Densidad:</b> 7.850 kg/m<sup>3</sup></p> <p><b>Módulo cortante:</b> 7,93e+10 N/m<sup>2</sup></p>	<p>Perfil rectangular de 2''x 1'' x 0.06''</p> <p>Perfil cuadrado de 2''x 0.06''</p>
	<p><b>Nombre:</b> ASTM A36 Acero</p> <p><b>Tipo de modelo:</b> Isotrópico elástico lineal</p> <p><b>Criterio de error predeterminado:</b> Tensión de von Mises máx.</p> <p><b>Límite elástico:</b> 2,5e+08 N/m<sup>2</sup></p> <p><b>Límite de tracción:</b> 4e+08 N/m<sup>2</sup></p> <p><b>Módulo elástico:</b> 2e+11 N/m<sup>2</sup></p> <p><b>Coefficiente de Poisson:</b> 0,26</p> <p><b>Densidad:</b> 7.850 kg/m<sup>3</sup></p> <p><b>Módulo cortante:</b> 7,93e+10 N/m<sup>2</sup></p>	<p>Placa soporte de la bomba mecánica</p>

Propiedades del material, Fuente: ( José Choez & Damián Lucas, 2024).

En la (Tabla 3.2) se observa el análisis estático que se realizó para la estructura donde se utilizó un mallado de viga, ya que este tipo de mallado es apto para estudios de elementos finos, en estructuras alargadas y finas. Este método disminuye la complejidad computacional y permite definir con precisión propiedades estructurales como el área, el instante de inercia y el módulo de sección. Los elementos de viga se unen en sus nodos extremos, permitiendo la transferencia de fuerzas y momentos, y cada nodo cuenta con seis grados de libertad, lo que hace más fácil la modelación de deformaciones axiales, torsionales y de flexión. Para la selección de las chumaceras sacamos la las fuerzas que se ejerce sobre las bandas la fuerza

una de la banda de 1200 mm nos da 0,8 N y en la banda dos de 750 mm nos da una fuerza de 0,461 N, por ende la selección de las bandas nos basamos que las chumaceras soporten esas fuerzas a las que van hacer sometidas la chumacera que se seleccionó soporta una fuerza de 1,5 N y lo que se necesita que soporte la chumacera mediante los cálculos es de 1,261 N es decir que están bien seleccionadas están dentro del rango de las fuerzas que van hacer sometidas.

Con la (Ec. 3.1) se realiza los cálculos para determinar la fuerza que tiene que soportar la chumacera del banco didáctico.

Ec. (3.1)

$$-Ay + By - Cy = 0$$

**Tabla 3.2:** Propiedades de estudio.

<b>Nombre de estudio</b>	Banco de pruebas
<b>Tipo de análisis</b>	Análisis estático
<b>Tipo de malla</b>	Malla de viga
<b>Tipo de solver</b>	Automático
<b>Efecto de rigidización por tensión (Inplane):</b>	Desactivar
<b>Muelle blando:</b>	Desactivar
<b>Desahogo inercial:</b>	Desactivar
<b>Opciones de unión rígida incompatibles</b>	Automático
<b>Gran desplazamiento</b>	Desactivar
<b>Calcular fuerzas de cuerpo libre</b>	Activar
<b>Carpeta de resultados</b>	Documento de SOLIDWORKS (D:\NO ELIMINAR\Desktop\solid\estructura de prueba-Análisis estático parte superior)

Propiedades que se analizó, Fuente: ( José Choez & Damián Lucas, 2024).

En la (Tabla 3.3) se observa las unidades de medida utilizado en el SolidWorks para los cálculos de deformaciones y esfuerzos.

**Tabla 3.3:** Unidades.

<b>Sistema de unidades:</b>	Métrico (MKS)
<b>Longitud/Desplazamiento:</b>	mm
<b>Temperatura:</b>	Kelvin
<b>Velocidad angular:</b>	Rad/seg
<b>Presión/Tensión:</b>	N/m <sup>2</sup>



Unidades de medida, Fuente: ( José Choez & Damián Lucas, 2024).

### 3.2 Desarrollo de las simulaciones.

En la (Tabla 3.4), se observa el análisis estático y tensiones.

**Tabla 3.4:** Análisis estático y tensiones.

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones1	Tensión axial y de flexión en el límite superior	0,000e+00N/m <sup>2</sup> Elemento: 363	5,905e+07N/m <sup>2</sup> Elemento: 78

Estructura de prueba-Análisis estático 1-Tensiones-Tensiones1

Análisis estático y tensiones, Fuente: ( José Choez & Damián Lucas, 2024)

En la (Tabla 3.4) se observa el primer análisis se considera que el máximo de alcance del acero ASTM A36 es de 250 Mpa, es decir, que a partir de este valor si se tiene una carga mayor el perfil tenderá a deformarse y no será de capaz de regresar a su estado natural o puede producirse una fisura en la estructura por un exceso de carga según los estudios realizados nos evidencia que el esfuerzo máximo que se tiene en esta estructura por efecto de las cargas de trabajo es de 121 Mpa, lo cual es un valor por debajo del límite elástico por lo cual el perfil cumple con las características de diseño.

**Tabla 3.5:** Análisis estático y desplazamientos.

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos1	URES: Desplazamientos resultantes	0,000e+00mm Nodo: 17	2,078e+00mm Nodo: 372

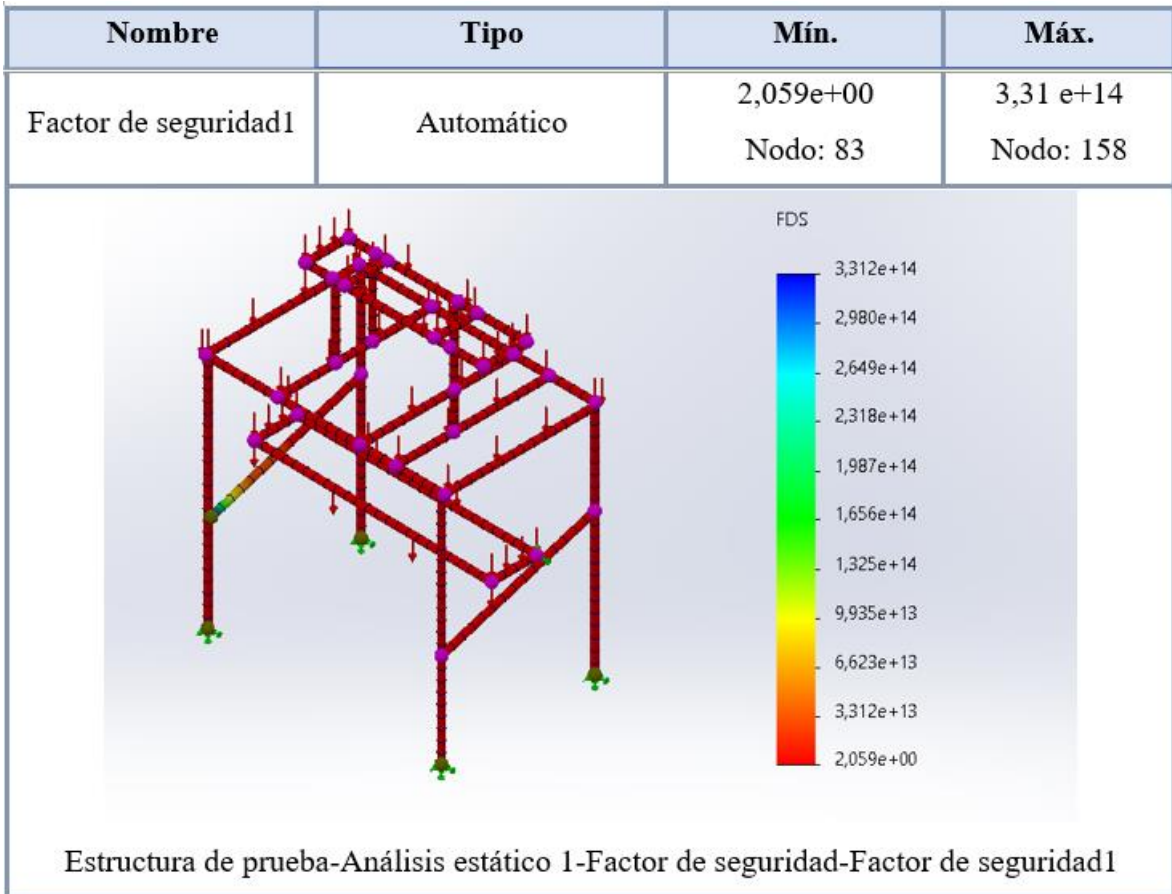
  

Estructura de prueba-Análisis estático 1-Desplazamientos-Desplazamientos1

Estudio estático y desplazamientos, Fuente: ( José Choez & Damián Lucas, 2024).

En la (Tabla 3.5) se observa el caso de la deformación se tiene un valor máximo de 2,07 mm el cual se puede evidenciar en la parte superior de la estructura, sin embargo, el valor no excede el límite de deformación permitido por lo cual se concluye que la configuración de la estructura es correcta y los perfiles seleccionados son capaces de soportar las cargas de trabajo.

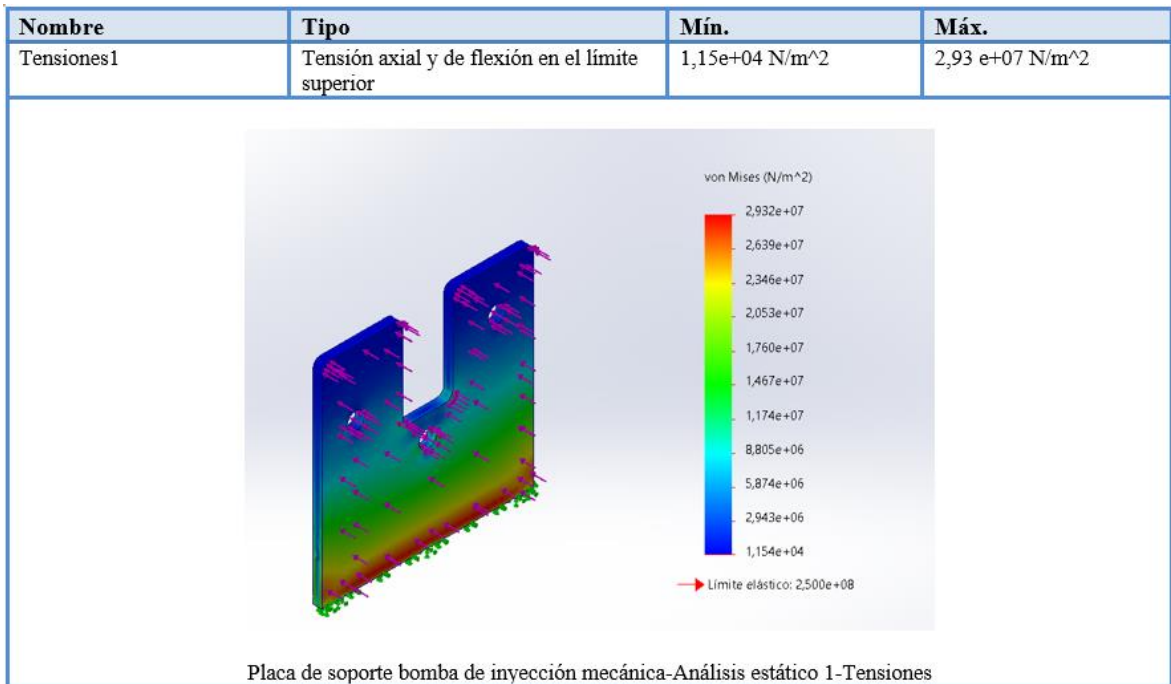
**Tabla 3.6:** Factor de seguridad.



Factor de seguridad, Fuente: (José Choez & Damián Lucas, 2024).

En la (Tabla 3.6), se observa el factor de seguridad es un término muy importante en el área de diseño ya que este denota los parámetros de seguridad recomendados para que un diseño sea óptimo, en el caso de la estructura de pruebas se tiene un valor mínimo de 2,059 y un valor máximo de 3,31 e+14, esto debido a que existen puntos en los cuales el efecto de las cargas es bajo.

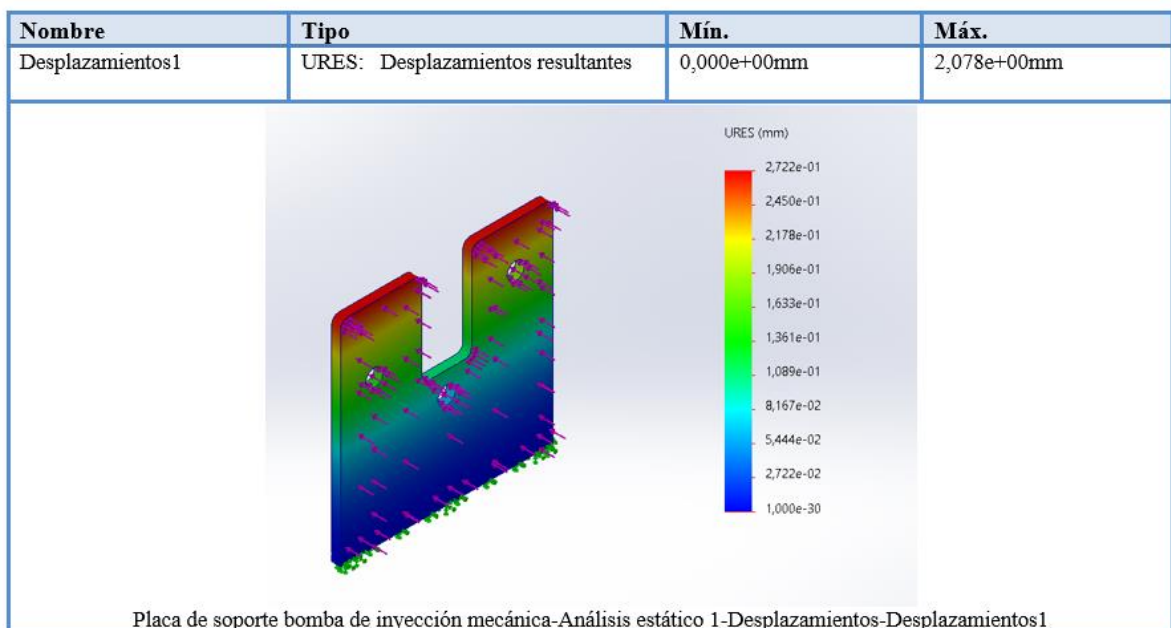
**Tabla 3.7:** Tensiones de la placa de soporte



Tensión y deflexión, Fuente: ( José Choez & Damián Lucas, 2024).

En la (Tabla 3.7), se observa el estudio de las placas de soporte de bomba de inyección mecánica se tiene un valor de 29 Mpa como esfuerzo de fluencia el cual está muy por debajo del límite permitido por el acero ASTM A36 que tiene un valor de 250 Mpa, por lo tanto, el espesor seleccionado es adecuado para el diseño.

**Tabla 3.8:** Desplazamientos de la placa de soporte.



Desplazamiento resultante, Fuente: ( José Choez & Damián Lucas, 2024).

En la (Tabla 3.8), se observa las deformaciones, se tiene un valor máximo de 0,277 mm y como se observa en la figura los puntos más críticos está ubicado en la parte superior de la placa, esto debido a que a mayor distancia el momento flector producido por la carga es mayor, cabe recalcar que la fuerza aplicada esta denotada por la bomba de inyección mecánica que se encuentra fijada a la placa y a su vez se considera la carga aplicada por la tensión de la banda conectada al motor. El valor obtenido es bastante insignificante por lo tanto el diseño es correcto.

**Tabla 3.9:** Factor de seguridad de la placa de soporte.

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad1	Automático	8,25 e+00	2,16 e+04

Placa de soporte bomba de inyección mecánica -Análisis estático 1-Factor de seguridad

Factores de seguridad, Fuente: ( José Choez & Damián Lucas, 2024).

En la (Tabla 3.9), se observa los factores de seguridad se tiene un valor mucho más alto que el que se obtuvo en la estructura, un valor máximo de 2,16 e +04 y un valor mínimo de 8,25 lo cual sugiere que el diseño está por encima del factor recomendado y este podrá trabajar en condiciones adecuadas.

### 3.3 Criterio de construcción.

En la (Tabla 3.10) se observa las cargas y sujeciones que va hacer expuesta la estructura que soportara las bombas los elementos que se va a utilizar tipos y números de juntas las geometrías.

Tabla 3.10: Cargar y sujeción.

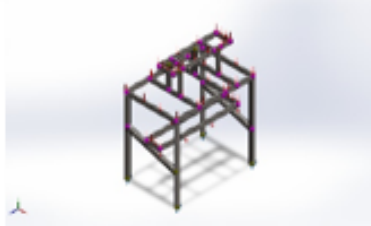
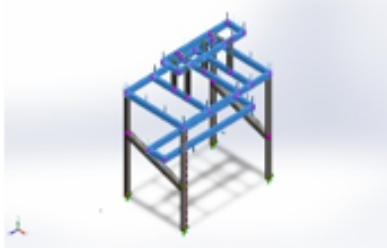
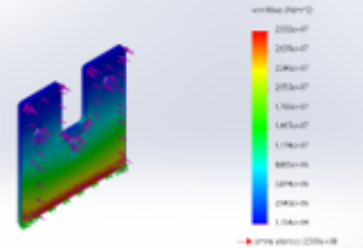
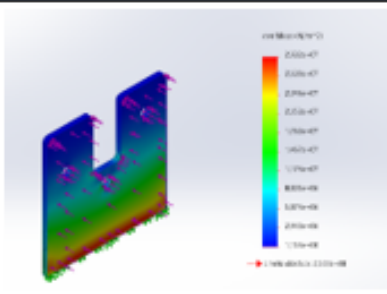
Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción
Elementos fijos		<b>Entidades:</b> 6 juntas <b>Tipo:</b> Geometría fija
Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga
Fuerza total		<b>Entidades:</b> 17 viga(s) <b>Referencia:</b> Eje Y <b>Tipo:</b> Fuerza distribuida <b>Valores:</b> 790 N
Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción
Elementos fijos		<b>Entidades:</b> Una <b>Tipo:</b> Geometría fija
Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga
Fuerza total		<b>Entidades:</b> Una <b>Referencia:</b> Eje Z <b>Tipo:</b> Fuerza distribuida <b>Valores:</b> 289 N

Tabla de cargas y sujeciones, Fuente: ( José Choez & Damián Lucas, 2024).

### 3.4 Fuerzas de reacción.

En la (Tabla 3.11), se observa los valores de las fuerzas de reacción.

**Tabla 3.11:** Valores de las fuerzas de reacción.

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	0	8.706,69	0	8.706,69

Fuerzas de reacción final, Fuente: ( José Choez & Damián Lucas, 2024).

### 3.5 Momentos de reacción.

En la (Tabla 3.11), se observa los momentos de las fuerzas de reacción.

**Tabla 3.12:** Valores del momento de reacción.

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N-m	-9,84798	2,11752	282,984	283,163

Momento de reacción finales, Fuente: ( José Choez & Damián Lucas, 2024).

## CAPÍTULO 4

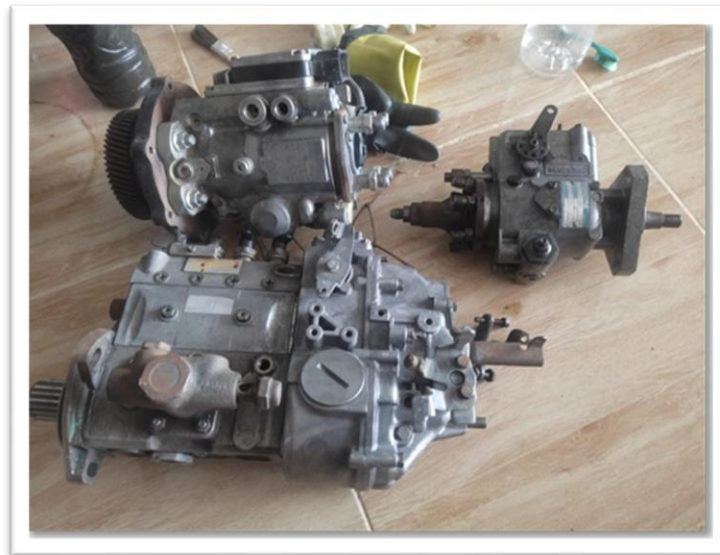
### 4. CONSTRUCCIÓN DEL BANCO DE PRUEBAS DE BOMBAS DE INYECCIÓN

#### 4.1 Explicación de manera general el proceso de construcción.

Bombas para un estudio didáctico tiene como objetivo principal proporcionar a los estudiantes una comprensión integral de las diversas tecnologías y aplicaciones en sistemas de inyección de combustible para el banco didáctico se utilizó las siguientes bombas STANADYNE (Mecánica), BOSCH (Electrónica) y bomba, lineal TOYOTA (Mecánica) por su trascendencia en el ámbito automotriz ya que son muy comercializadas en el mundo de los motores diésel al tenerlas como base para el estudio de sus componentes proporciona una visión sobre cómo diferentes fabricantes abordan problemas similares con soluciones únicas. Estas bombas se han mantenido en el mercado durante décadas en la maquinaria pesada y camionera.

1. Adquirir las bombas de inyección diésel que se va a ocupar en el proyecto.

**Figura 4.1:** Adquisición de las bombas.



Bombas de inyección, Fuente: ( José Choez & Damián Lucas, 2024).

2. Limpieza profunda de bombas con la ayuda de una pistola de pulverización lo cual empezó con la aplicación de thinner y desengrasante para tener una limpieza profunda.



**Figura 4.2:** Limpieza de bombas.



Limpieza, Fuente: ( José Choez & Damián Lucas, 2024).

3. Una vez limpia todas las bombas se realiza el desarmado y observación de las áreas que se pueda cortar sin que afecten al funcionamiento mecánico.

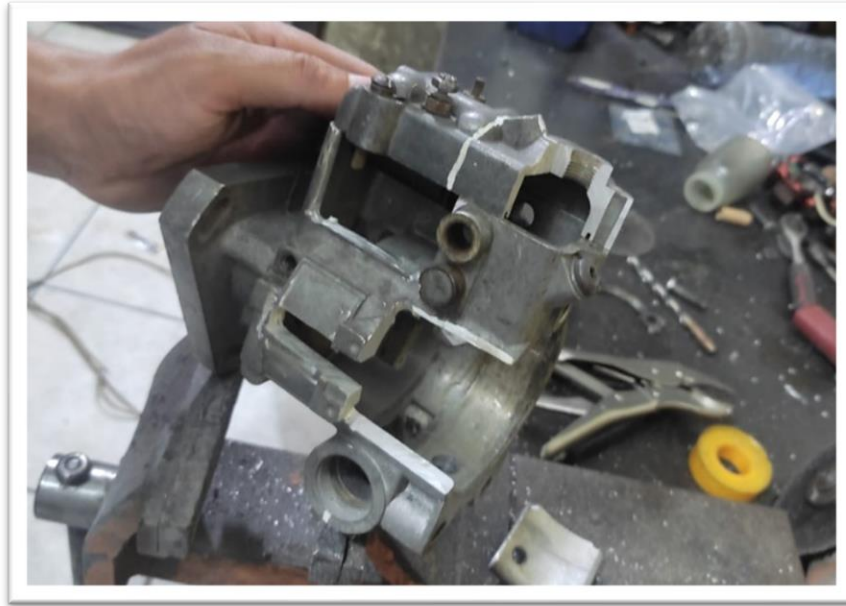
**Figura 4.3:** Desarmado de bombas.



Desarmado, Fuente: ( José Choez & Damián Lucas, 2024).

4. Con las bombas ya desarmadas se realizan los cortes en cada una de ellas con la ayuda de una amoladora pequeña de mano y un mototool para zonas más pequeñas.

**Figura 4.4:** Seccionamiento de bombas.



Cortar las bombas para ver las partes móviles, Fuente: (José Choez & Damián Lucas, 2024).

5. Con la ayuda de una cinta se tapa el área que desea proteger de la pintura para que no dificulte los movimientos mecánicos que van a tener las bombas.

**Figura 4.5:** Tapar bombas para pintar.



Sellar orificios para pintar, Fuente: (José Choez & Damián Lucas, 2024).

6. Aplicar pintura de fondo con relleno poliuretano para una mejor adherencia la pintura con el metal.

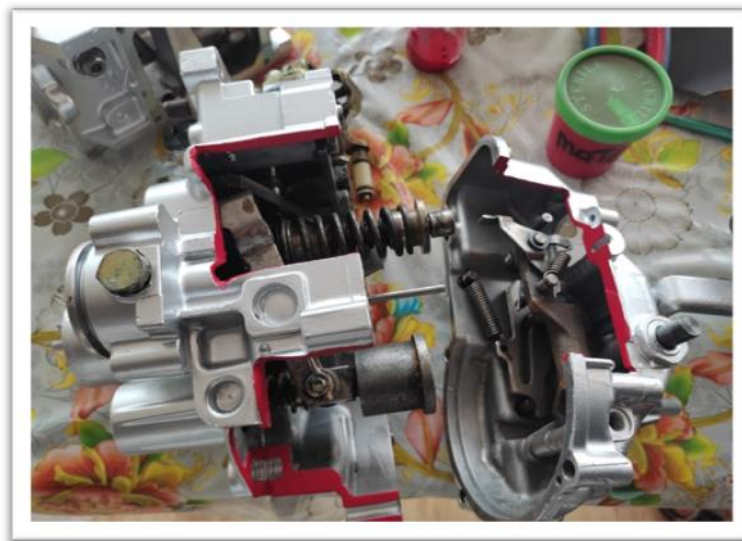
**Figura 4.6:** Aplicar pintura de fondo con relleno poliuretano.



Aplicar pintura de fondo, Fuente: ( José Choez & Damián Lucas, 2024).

7. Teniendo lista la superficie de las bombas ya aplicado el fondo se procede a pintar los colores didácticos en las bombas de inyección.

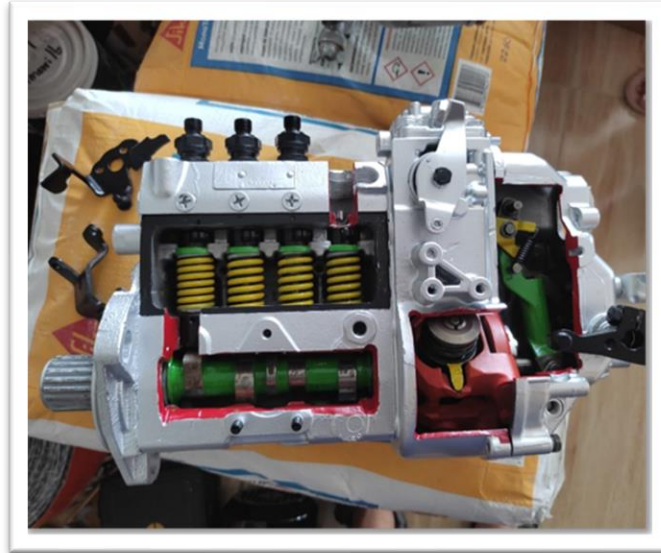
**Figura 4.7:** Pintar Bombas.



Pintura, Fuente: (José Choez & Damián Lucas, 2024).

8. Con todo listo se procede al armado de las bombas de inyección teniendo cuidado de no dañar la pintura al momento de ensamblar.

**Figura 4.8:** Armada de las bombas.



Armado de las bombas, Fuente: (José Choez & Damián Lucas, 2024).

## 4.2 Estructura del prototipo.

### 4.2.1 Materiales.

En la (Tabla 3.13), se observa los materiales que se va a utilizar.

**Tabla 4.13:** Materiales.

ITEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Tubo rectangular de 2" x 1"	3
2	Tubo cuadrado de 2" x 2"	1
3	Chumacera de ½"	2
4	Eje de 12 mm de diámetro	1
5	Perno sin fin 12mm	1
6	Poleas dobles de 3 "	2
7	Polea simple de 3 ½ "	1

<b>8</b>	Plancha de acero de 4 mm de espesor	1
<b>9</b>	Pernos, tuercas y arandelas	40
<b>10</b>	Pintura azul marino	1 litro
<b>11</b>	Pintura de fondo	1 litro
<b>12</b>	Thinner	3 litros
<b>13</b>	Ruedas de 3” con freno	4
<b>14</b>	Electrodo 6011	15
<b>15</b>	bisagras de 3”	2

Materiales empleados, Fuente: ( José Choez & Damián Lucas, 2024).

#### 4.2.2 Máquinas y herramientas.

En la (Tabla 3.14), se observa las máquinas y herramienta necesarias para la construcción del banco didáctico.

**Tabla 4.14:** Máquinas y herramientas.

<b>ITEM</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>CANTIDAD</b>
<b>1</b>	Amoladora con disco de (corte, desbaste, grata circular)	1
<b>2</b>	Pistola de pintar	1
<b>3</b>	Compresor	1
<b>4</b>	Soldadora	1
<b>5</b>	Martillo	1
<b>6</b>	Escuadra	1
<b>7</b>	Flexómetro	1
<b>8</b>	Extensión eléctrica	1

<b>9</b>	Taladro	1
<b>10</b>	Brocas	5

Descripción de máquinas y herramientas, Fuente: ( José Choez & Damián Lucas, 2024).

#### 4.2.2 Proceso de construcción de la estructura.

- Para desarrollar la construcción de la estructura del banco didáctico, primero se debe elaborar un plano para evitar desperdicio de material y asegurar que las medidas sean precisas. Luego, se procede a cortar los tubos rectangulares con una amoladora eléctrica de mano.

**Figura 4.9:** Corte de tubos para la estructura.



Organizar los materiales, Fuente: (José Choez & Damián Lucas, 2024).

- Una vez finalizados los cortes, los tubos se sueldan, asegurándose de que queden a escuadra y a nivel para evitar desperfectos en la estructura.

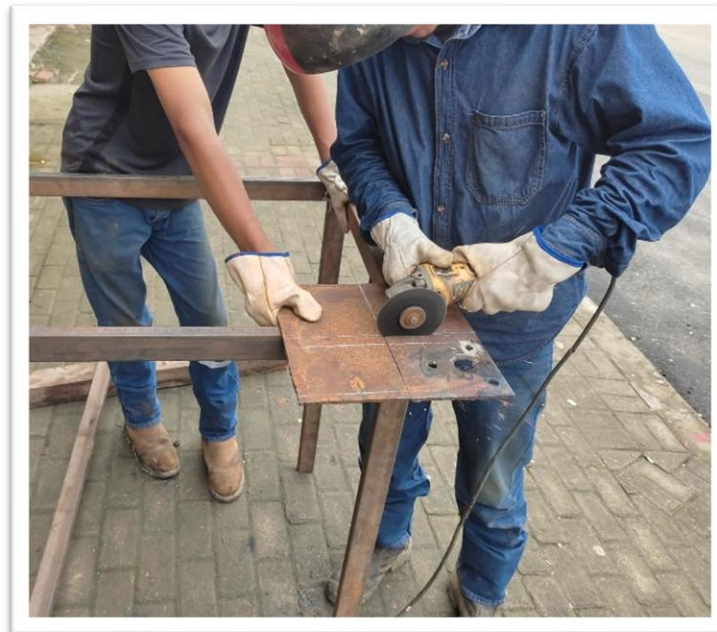
**Figura 4.10:** Soldar la estructura.



Soldadura, Fuente: ( José Choez & Damián Lucas, 2024).

- Se corta la plancha donde se apoyarán las bombas y se realizan perforaciones para sujetarla a la estructura.

**Figura 4.11:** Corte de plancha para soporte de las bombas.



Corte para el soporte de las bombas, Fuente: ( José Choez & Damián Lucas, 2024).

- Considerando las posiciones de las bombas, se sueldan los soportes a la estructura previamente desarrollada.

**Figura 4.12:** Soldar soportes de las bombas.



Soportes para las bombas, Fuente: ( José Choez & Damián Lucas, 2024).

- Una vez realizadas todas las uniones de la estructura y los soportes, se ensambla la mini estructura donde se ubicará el motor eléctrico. En esta etapa, se incorpora el sistema de tensado de bandas, utilizando bisagras y un perno sinfín que ayudará al ajuste de las bandas para evitar la pérdida de fricción entre las poleas y las bandas.

**Figura 4.13:** Estructura para el motor y bandas.



Diseño para el soporte de motor, Fuente: (José Choez & Damián Lucas, 2024).



- Una vez completadas todas las uniones y ensamblajes necesarios para el banco didáctico, se procede a reforzar las soldaduras y a pulirlas para obtener un buen acabado.

**Figura 4.14:** Pulir acabados de la soldadura.



Detailing de la estructura, Fuente: (José Choez & Damián Lucas, 2024).

- Con la estructura pulida, limpia y desengrasada, se aplica fondo de poliuretano para mejorar la adherencia de la pintura al metal y garantizar una mayor durabilidad.

**Figura 4.15:** Aplicación de fonde en la estructura.



Fondeado de la estructura, Fuente: ( José Choez & Damián Lucas, 2024).

- Una vez listo el fondo en la estructura, se aplica pintura de poliuretano, en este caso de color negro, y se finaliza con barniz para una mayor protección de la pintura.

**Figura 4.16:** Aplicación de pintura poliuretano.



Pintura de la estructura, Fuente: (José Choez & Damián Lucas, 2024).

- Finalmente, se ensamblan las bombas, el motor, las poleas, las bandas y las ruedas en la estructura, dando paso al desarrollo de las pruebas del banco.

**Figura 4.17:** Ensamblaje y armado del banco de bombas.



Proceso de ensamblaje, Fuente: (José Choez & Damián Lucas, 2024).

## CAPÍTULO 5

### 5. MANUAL DE INSTRUCCIONES PARA EL FUNCIONAMIENTO DEL BANCO DIDÁCTICO

#### 5.1 Manual de uso y cuidado.

Para evitar accidentes al momento de la práctica de laboratorio se debe utilizar obligatoriamente equipo de protección personal (EPP) para utilizar el banco didáctico.

- Uso de mandil de trabajo.
- Uso de botas punta de acero.
- Uso de guantes de protección.
- Uso de gafas de seguridad.
- Uso de malla para cabello en caso de tener el cabello largo.
- Evitar desarrollar la práctica con joyas u artículos que puedan enredarse.

##### 5.1.1 Precauciones Eléctricas.

**Figura 5.1:** Precaución eléctrica.



Alto riesgo eléctrico, Fuente: (José Choez & Damián Lucas, 2024).

- Revisar que el banco tenga la alimentación eléctrica correcta en este caso 220 voltios para el motor eléctrico.
- No manipular componentes que estén sometidos a corriente con las manos mojadas.
- Observar que no haya desperfectos en los cables y conexiones.

### 5.1.2 Precauciones de seguridad.

En la (Figura 5.2), se observa la señalética de seguridad.

**Figura 5.2:** Precaución.



Precauciones de seguridad, Fuente: (José Choez & Damián Lucas, 2024).

- Tener un área de trabajo limpia y sin herramientas que estén en el banco para evitar sean succionadas por las partes móviles.
- Desconecte las alimentaciones eléctricas para realizar cualquier trabajo en el equipo como el ajuste de las bandas u otra actividad.
- No aglomerarse alrededor del banco para evitar empujones entre compañeros de trabajo y provocar accidentes o altercados.

### 5.1.3 Guía de uso

- Movilice el banco al área que se trabajará considerando que tenga la alimentación correcta y que la superficie de apoyo sea nivelada, una vez colocar los frenos de seguridad de las ruedas para evitar movimientos del banco.

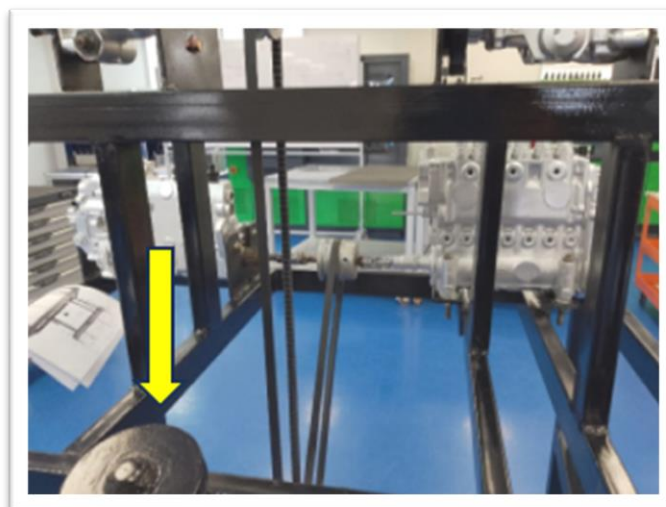
**Figura 5.3:** Banco didáctico de bombas inyección diésel.



Ubicación del banco en un lugar con superficie plana, Fuente: (José Choez & Damián Lucas, 2024).

- Haga el templado de las bandas moviendo el volante para evitar descarrilamiento estas.

**Figura 5.4:** Tensado de las bandas.



Regulación de las bandas, Fuente: (José Choez & Damián Lucas, 2024).

- Verifique que el banco y sus componentes estén bien ajustados y procedemos al encendido, para encender enchufe el conector en la toma de corrientes después pulse el botón de encendido.

**Figura 5.5:** Conexión eléctrica.



Instalación eléctrica, Fuente: (José Choez & Damián Lucas, 2024).

- Observe el funcionamiento de las bombas lineales y rotativas (mecánicas y eléctricas).

**Figura 5.6:** Funcionamiento.



Demostración de funcionamiento, Fuente: ( José Choez & Damián Lucas, 2024).

- Después de completar con el proceso de pruebas en el banco se puede proceder al apagado del motor eléctrico se realiza con el interruptor y el desenchufado de la fuente de energía.

**Figura 5.7:** Enchufe eléctrico.



Interruptor, Fuente: (José Choez & Damián Lucas, 2024).

#### **5.1.4 Mantenimiento y cuidado.**

- Limpieza: Con frecuencia debe limpiar el área de trabajo para evitar la presencia de residuos de aceite o grasa.
- Inspección visual: revisar con frecuencia posibles desgastes, daños o fugas en mecanismos y si hay algún desperfecto sustituya lo antes posible la pieza.
- Calibración: En nuestro banco el único ajuste que se debe hacer es el de las bancas de distribución teniendo en cuenta un buen templado.
- Registro de mantenimiento: Mantenga un apunte detallado de todas las tareas de mantenimiento realizadas en el banco de pruebas.

#### **5.1.5 Mantenimiento Diario.**

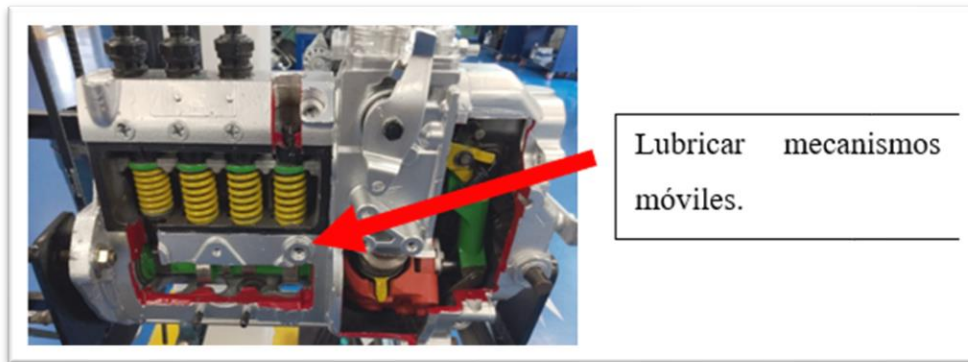
- Limpiar el banco después de cada uso para prevenir la acumulación de suciedad.
- Inspeccionar visualmente todas las conexiones y componentes.

#### **5.1.6 Mantenimiento Periódico.**

- Engrasar las chumaceras con grasa para rodamientos y así prolongar la vida útil.
- Rociar lubricante en mecanismos de las bombas que tienen movimiento para un mejor trabajo y evitar desgastes prematuros.



**Figura 5.8:** Bomba seccionada.



Lubricación antes del uso, Fuente: ( José Choez & Damián Lucas, 2024).

### 5.1.7 Almacenamiento.

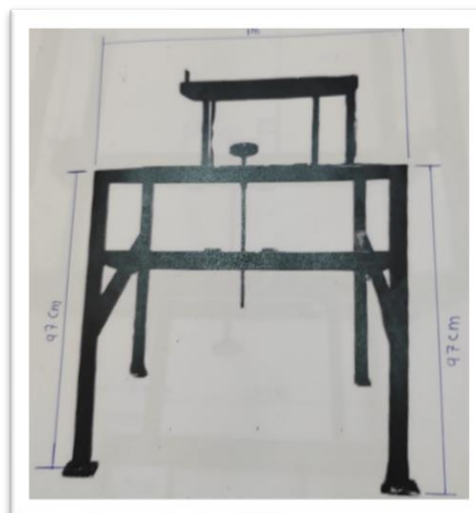
Si no se ocupará el banco durante mucho tiempo, se recomienda desconectar la alimentación eléctrica.

## 5.2 Características de construcción.

### 5.2.1 Planos.

Creación de planos precisos y cálculos estructurales para asegurar que la estructura pueda soportar los pesos de las bombas.

**Figura 5.9:** Plano.



Bosquejo de la maqueta, Fuente: ( José Choez & Damián Lucas, 2024).

### 5.2.2 Dimensiones y espacio.

Planificación del espacio necesario para la instalación, operación y explicación del funcionamiento de cada bomba.

**Figura 5.10:** Dimensiones.



Dimensiones, Fuente: ( José Choez & Damián Lucas, 2024).

### 5.2.3 Tratamiento anticorrosión.

Aplicación de recubrimientos protectores fondo para evitar corrosión, pintura epoxi.

**Figura 5.11:** Tratamiento anticorrosivo.



Anticorrosión, Fuente: ( José Choez & Damián Lucas, 2024).

#### 5.2.4 Bases y anclajes.

Construcción de bases reforzadas para tener un buen soporte y anclajes sólidos con buena soldadura tipo Soldadura TIG (Tungsten Inert Gas), también conocida como soldadura por arco de tungsteno con gas ya que este tipo de suelda es una de las clases de soldadura que más se emplea para llevar a cabo trabajos delicados, precisos y aporta con un buen acabado y no se requiere realizar pulida en exceso, con esta suelda se asegura la estabilidad de la estructura de las bombas.

Para aplicar esta suelda utilizamos la norma

- **AWS A5.12:** Especificación para electrodos de tungsteno y electrodos de tungsteno para soldadura por arco de gas (GTAW).
- **AWS D1.1/D1.1M:** Código de soldadura estructural – Acero, que incluye procedimientos y calificaciones de soldadura para diversos tipos de soldadura

**Figura 5.12:** Soportes.



Bases, Fuente: ( José Choez & Damián Lucas, 2024).

#### 5.2.5 Aislamiento de vibraciones.

Utilización de bases aislantes de caucho para reducir vibraciones y ruido.

**Figura 5.13:** Cauchos.



Absorción de vibración, Fuente: ( José Choez & Damián Lucas, 2024).

### 5.2.6 Señalización y protección.

Provisión de señalización adecuada y protección para que no toquen y pueda ocurrir accidentes.

**Figura 5.14:** Señalización.



Señaléticas, Fuente: ( José Choez & Damián Lucas, 2024).

### 5.2.7 Cableado y conexiones.

Instalación de cableado eléctrico apropiado para la alimentación del motor para que nos dé el funcionamiento de las bombas de inyección.

**Figura 5.15:** Conexiones.



Cableado eléctrico, Fuente: ( José Choez & Damián Lucas, 2024).

### 5.2.8 Paneles de control.

Integración de paneles de control para cortar el paso de corriente y encender y apagar la maqueta cuando valla ser utilizada.

**Figura 5.16:** Interruptor.

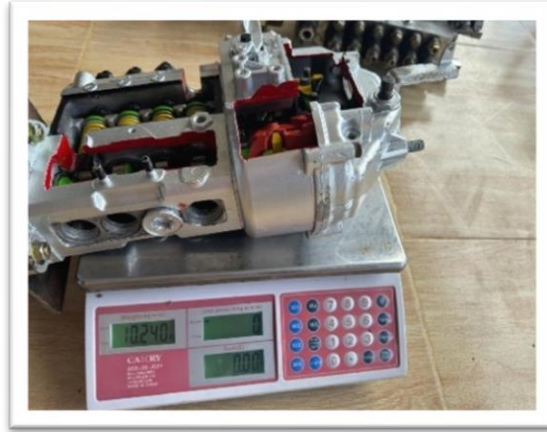


Paneles de control, Fuente: ( José Choez & Damián Lucas, 2024).

### 5.3 Peso y dimensiones de las bombas

- Peso de la bomba lineal mecánica: 10.24 kg.

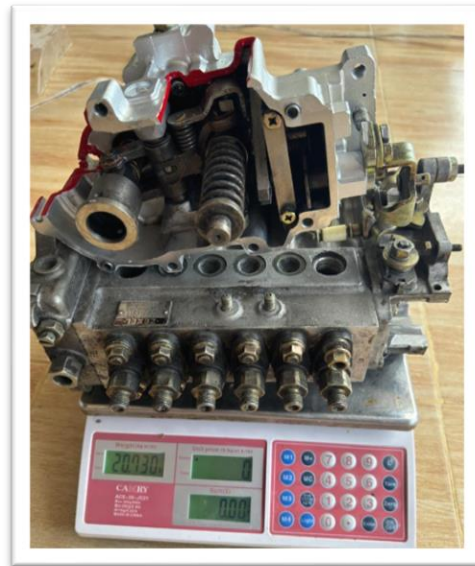
**Figura 5.17:** Peso de la bomba lineal mecánica.



Consistencia de la bomba, Fuente: ( José Choez & Damián Lucas, 2024).

- Peso de la bomba lineal semi electrónica: 20.73 kg.

**Figura 5.18:** Peso de la bomba lineal semi electrónica.



Consistencia de la bomba, Fuente: ( José Choez & Damián Lucas, 2024).

- Peso de la bomba rotativa mecánica: 5.74 kg.

**Figura 5.19:** Peso de la bomba rotativa mecánica.



Consistencia de la bomba, Fuente: ( José Choez & Damián Lucas, 2024).

- Peso de la bomba rotativa electrónica: 12.12 kg.

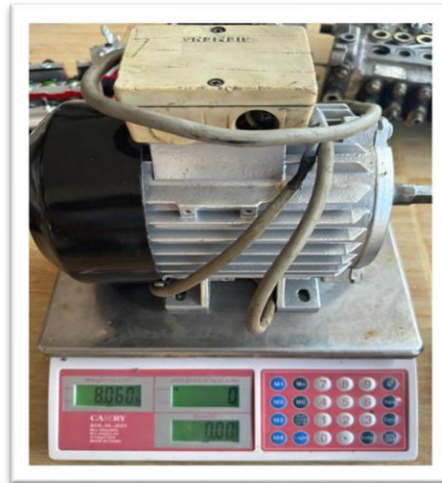
**Figura 5.20:** Peso de la bomba rotativa electrónica.



Peso de la bomba, Fuente: ( José Choez & Damián Lucas, 2024).

- Peso del motor eléctrico: 8.06 kg.

**Figura 5.21:** Peso del motor eléctrico.



Peso del motor eléctrico, Fuente: (José Choez & Damián Lucas, 2024).

- Ancho de la estructura del banco: 65 cm.

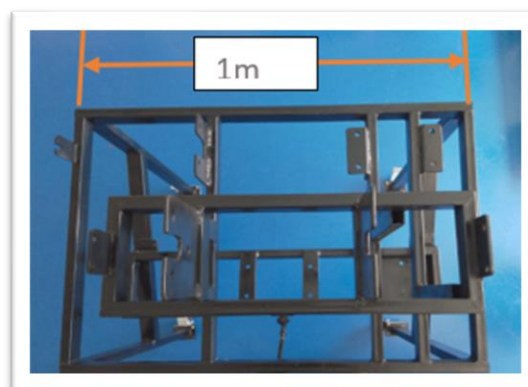
**Figura 5.22:** Ancho de la estructura del banco.



Medida del ancho del banco, Fuente: ( José Choez & Damián Lucas, 2024).

- Largo de la estructura del banco: 1 m.

**Figura 5.23:** Largo de la estructura del banco.



Dimensión del banco, Fuente: ( José Choez & Damián Lucas, 2024).



- Alto de la estructura del banco: 1.48 m.

**Figura 5.24:** Alto de la estructura del banco.



Altura del banco, Fuente: (José Choez & Damián Lucas, 2024).

#### **5.4 Cuidados a la hora de manipulación del banco.**

- Tener cuidado al momento de prender el motor de meter los dedos en las bandas porque puede jalar y tener accidentes graves.
- Siempre poner los seguro a las ruedas del banco al momento de encender para que no se mueva y se mantenga en un solo lugar.
- Respetar los rótulos de seguridad.
- No arrimarse sobre el banco de bombas de inyección.
- Conectar el interruptor antes de encender la maqueta.

## CONCLUSIONES

- El banco permite observar el funcionamiento interno de las bombas gracias a los cortes realizados y la pintura didáctica aplicada para el reconocimiento de cada parte que compone cada bomba.
- El banco integra tecnologías pretéritas y modernas de bombas de inyección, brindando una visión amplia de la evolución de estos sistemas, facilitando la comprensión de los avances y mejoras técnicas a lo largo del tiempo. Esto permite a los estudiantes comparar el funcionamiento y la eficiencia de diferentes generaciones de bombas de inyección diésel.
- Los materiales seleccionados (acero ASTM A36) proporcionan un factor de seguridad adecuado para soportar los esfuerzos y deformaciones. Este acero se destaca por su excelente resistencia y ductilidad, asegurando un rendimiento confiable en diversas aplicaciones industriales. Además, su accesibilidad y coste razonable lo convierten en una opción óptima para proyectos que necesitan equilibrar eficiencia y economía.
- El banco didáctico de las bombas diésel es una buena opción para los estudiantes e ingenieros de la Universidad Politécnica Salesiana ya que con este las clases se tornan más dinámicas y prácticas porque con el banco se puede ver a detalle cada parte y elemento que llevan cada bomba y se puede comprender de mejor manera el funcionamiento por el seccionamiento que tiene cada bomba.
- Según las gráficas del análisis estático, las dimensiones de los componentes seleccionados cumplen con los parámetros operativos de la máquina considerando los límites permitidos de un factor de seguridad, valores adimensionales, sin unidades de medidas. Considerando que un diseño debe tener un factor de seguridad mínimo de 2 para asegurar que no falle en caso de una sobrecarga de esfuerzos, se ha determinado que la estructura tiene un rango de 2 a 3, mientras que las placas de soporte presentan un valor de 3 a 8.

## **RECOMENDACIONES**

- Seguir estrictamente las normas de seguridad y utilizar el equipo de protección personal indicado al operar el banco.
- Realizar el mantenimiento preventivo periódico según lo especificado en el manual, especialmente la lubricación de partes móviles.
- Verificar el correcto tensado de las bandas antes de cada uso para evitar deslizamientos o descarrilamientos.
- Mantener el área de trabajo siempre limpia y sin objetos que puedan ser succionados por las partes móviles.
- Capacitar adecuadamente a los instructores y estudiantes sobre el uso correcto del equipo antes de operarlo.
- Almacenar el banco en un lugar seco y cubierto cuando no esté en uso para evitar corrosión.
- Realizar inspecciones visuales periódicas para detectar posibles daños, desgastes o fugas en los componentes.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Albert, P. (12 de 09 de 2020). *Alimentación de motores MEC*. Obtenido de Alimentación de motores MEC:  
[https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=gn8cyPMWDSUC&oi=fnd&pg=PA3&dq=related:K3YF7ENEz-8J:scholar.google.com/&ots=E\\_K7GzvBq4&sig=Dl8sn6sXex9vTCfB12vGxqrFF8U#v=onepage&q&f=false](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=gn8cyPMWDSUC&oi=fnd&pg=PA3&dq=related:K3YF7ENEz-8J:scholar.google.com/&ots=E_K7GzvBq4&sig=Dl8sn6sXex9vTCfB12vGxqrFF8U#v=onepage&q&f=false)
- Alvarez, L. G. (7 de 9 de 2018). *Sistemas de alta y baja presión*. Obtenido de <https://mecanicaautomotrizdg.wordpress.com/2018/07/25/sistema-de-alimentacion-diesel/>
- Alzallú Soriano, J. A. (2015). La culata en el motor diesel de inyección indirecta. Cámaras de combustión. *Publicaciones Didácticas*, 66, 211-214.
- Árbol de levas. (s.f.). Obtenido de Árbol de levas:  
<https://www.moralesycialtda.com/sistemas-de-inyeccion.html>
- Barreto Granda, W. A., & Jiménez Estévez, J. J. (2013). *Análisis del tren alternativo del motor que funciona a hidrógeno versus el motor a gasolina*. [Universidad de las Fuerzas Armadas, Tesis de grado], Latacunga. Obtenido de <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/7016>
- Bomba alimentadora de combustible diesel*. (s.f.). Obtenido de Bomba alimentadora de combustible diesel: <https://spanish.alibaba.com/p-detail/Cheap-60443209113.html?spm=a2700.7724857.0.0.f169554fceihvV>
- Cabrera, J. R. (2021). *Sistema de alimentación de los motores de encendido por chispa (MECH) y por compresión (MEC)*. Obtenido de Sistema de alimentación de los motores de encendido por chispa (MECH) y por compresión (MEC):  
<https://www.researchgate.net/publication/357835551>
- Campus Educativo. (s.f.). *Motor de dos tiempos*. Obtenido de <https://campuseducativo.santafe.edu.ar/wp-content/uploads/Motores.pdf>
- Cárdenas Ramos, E. J., & Kaslin Duque, J. G. (2006). *Caracterización tecnológica del parque automotor del Distrito Metropolitano de Quito y propuesta para la reforma de la normativa ecuatoriana de emisiones en fuentes móviles terrestres*. Repositorio de la universidad, [Escuela Politécnica Nacional, Tesis de grado], Quito. Obtenido de <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/502>

- Castillo Medina, A. G., & Silva Cortez, J. P. (2014). *Rediseño e implementación de un banco de pruebas de bombas inyectoras Diésel para el laboratorio de motores de la Escuela de Ingeniería Automotriz*. Repositorio de la universidad, [Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Tesis de grado], Riobamba. Obtenido de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/4026>
- construex. (2020). Obtenido de construex: [https://www.construex.com.ec/exhibidores/ultra\\_inyectores/producto/bomba\\_inyeccion\\_diesel\\_bosch\\_guayaquil](https://www.construex.com.ec/exhibidores/ultra_inyectores/producto/bomba_inyeccion_diesel_bosch_guayaquil)
- Consuegra Pacheco, S. (2007). Módulo Motores Diesel.
- Disco de levas. (2019). Obtenido de Disco de levas: <http://www.cnducoo.com/ve-pump-cam-disk.html>
- Educate. (s.f.). *Cursos online educate*. Obtenido de Sistema de inyección electrónica diésel directa: [http://cursoseducate.com/wp-content/uploads/cc\\_lecciones/2017/01/S83M0K0Y0WCQNL.D.pdf](http://cursoseducate.com/wp-content/uploads/cc_lecciones/2017/01/S83M0K0Y0WCQNL.D.pdf)
- Gallo Pregliasco, F. A. (02 de 06 de 2021). *Inyección diesel con bomba rotativa*. Obtenido de Inyección diesel con bomba rotativa: <https://docplayer.es/213111558-Inyeccion-diesel-con-bomba-rotativa.html>
- Ganesan, V. (2012). *Función del sistemas de alimentación*. Obtenido de <https://www.mheducation.co.in/>
- Garro, O. D. (20 de 08 de 2019). *Bomba de inyección rotativa*. Obtenido de Bomba de inyección rotativa: <https://es.scribd.com/document/507275676/Bomba-de-inyeccion-rotativa-VE>
- González Gualdrón, A. F., Mora Velásquez, J. A., & Vargas Gómez, N. O. (2016). *Bomba de inyección rotativa tipo VE*. [Universidad ECCI, Tesis de grado], Bogotá. Obtenido de <https://repositorio.ecci.edu.co/handle/001/1969>
- Ingeniería y mecánica automotriz. (14 de 9 de 2020). Obtenido de [https://www.ingenieriaymecanicaautomotriz.com/que-es-el-sistema-de-inyeccion-de-alta-presion-y-como-funciona/#google\\_vignette](https://www.ingenieriaymecanicaautomotriz.com/que-es-el-sistema-de-inyeccion-de-alta-presion-y-como-funciona/#google_vignette)
- Ingeniería y mecánica automotriz. (2019). *Ingeniería y mecánica automotriz*. Obtenido de Ingeniería y mecánica automotriz: <https://www.ingenieriaymecanicaautomotriz.com/funcionamiento-de-la-inyeccion-de-combustible-diesel-iyma/>
- Jhonny, C., Wellington, C., Elizabeth, T., & Maria, T. (2019). *Funciones de las partes de una bomba de inyección lineal tipo Diésel*.

Lucas, J. C. ( 2024 ).

Lucas, J. C. (2024).

Lucín Figueroa, A. E. (2019). *Implementación de brida y acople al Banco de Calibración de Bombas de Inyección a Diésel COM-EMC para prueba de bomba de inyección Tipo A de Hino EB300 para camión*. [Universidad Internacional del Ecuador, Tesis de Grado], Guayaquil. Obtenido de <https://repositorio.uide.edu.ec/handle/37000/3829>

Macías, R. E. (2017). *SISTEMAS DE INYECCIÓN*. Obtenido de

<https://repositorio.uide.edu.ec/bitstream/37000/2379/1/T-UIDE-170.pdf>

Martínez Villegas, A. (18 de Enero de 2007). *Motores de combustión interna*. Obtenido de

<https://www.kimerius.com/app/download/5783856817/Motores+de+combusti%C3%B3n+interna.pdf>

*Mechatronics*. (31 de 01 de 2018). Obtenido de Mechatronics:

<https://mechatronics.by/es/portfolio-items/yamz-eurosens-delta/pitania2/>

Mora, L. T. (2018). *Bombas rotativas de inyección de émbolos radiales*. Obtenido de

Bombas rotativas de inyección de émbolos radiales:

<https://mecanicaautomotrizdg.wordpress.com/2018/07/25/sistema-de-alimentacion-diesel/>

Prenninger, H. &. (2007). *Sistemas de carga y alimentación*. Obtenido de

<https://www.springer.com/>

Rodríguez Herrera, R. G. (2019). *Elaboración de un Manual Didáctico de Despiece y*

*Armado de la Bomba Lineal Diésel Tipo PE de Seis Elementos*. [Universidad Internacional del Ecuador, Tesis de Grado], Guayaquil.

Salas. (2009).

Salas. (2009).

Sanz, S. (2017). *Motores*. Editex.

SENATI. (2006). *Afinamiento de motores Diesel (Parte I)*. Obtenido de

[www.mecanicoautomotriz.org](http://www.mecanicoautomotriz.org)

*Sistema de alimentación de combustible*. (2019). Obtenido de

<https://www.cam2.com.pe/single-post/2019/12/16/sistema-de-alimentaci%C3%B3n-de-combustible-y-sus-partes>

*Sistema de alimentación Dieles*. (2019). Obtenido de

[https://www.ecured.cu/Sistema\\_de\\_alimentaci%C3%B3n\\_Diesel](https://www.ecured.cu/Sistema_de_alimentaci%C3%B3n_Diesel)

Sistema de inyección diésel. (2017).

- Taller Actual. (2020). *Taller*. Obtenido de Taller: <https://talleractual.com/negocios-y-autopartes-local-empresas/negocios-y-autopartes-local-empresas-institucionales/1286-el-motor-de-ciclo-diesel>
- Albert, P. (12 de 09 de 2020). *Alimentación de motores MEC*. Obtenido de Alimentación de motores MEC:  
[https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=gn8cyPMWDSUC&oi=fnd&pg=PA3&dq=related:K3YF7ENEz-8J:scholar.google.com/&ots=E\\_K7GzvBq4&sig=Dl8sn6sXex9vTCfB12vGxqrFF8U#v=onepage&q&f=false](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=gn8cyPMWDSUC&oi=fnd&pg=PA3&dq=related:K3YF7ENEz-8J:scholar.google.com/&ots=E_K7GzvBq4&sig=Dl8sn6sXex9vTCfB12vGxqrFF8U#v=onepage&q&f=false)
- Alvarez, L. G. (7 de 9 de 2018). *Sistemas de alta y baja presión*. Obtenido de <https://mecanicaautomotrizdg.wordpress.com/2018/07/25/sistema-de-alimentacion-diesel/>
- Alzallú Soriano, J. A. (2015). La culata en el motor diesel de inyección indirecta. Cámaras de combustión. *Publicaciones Didácticas*, 66, 211-214.
- Árbol de levas. (s.f.). Obtenido de Árbol de levas:  
<https://www.moralesycialtda.com/sistemas-de-inyeccion.html>
- Barreto Granda, W. A., & Jiménez Estévez, J. J. (2013). *Análisis del tren alternativo del motor que funciona a hidrógeno versus el motor a gasolina*. [Universidad de las Fuerzas Armadas, Tesis de grado], Latacunga. Obtenido de <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/7016>
- Bomba alimentadora de combustible diesel. (s.f.). Obtenido de Bomba alimentadora de combustible diesel: <https://spanish.alibaba.com/p-detail/Cheap-60443209113.html?spm=a2700.7724857.0.0.f169554fceihvV>
- Cabrera, J. R. (2021). *Sistema de alimentación de los motores de encendido por chispa (MECH) y por compresión (MEC)*. Obtenido de Sistema de alimentación de los motores de encendido por chispa (MECH) y por compresión (MEC):  
<https://www.researchgate.net/publication/357835551>
- Campus Educativo. (s.f.). *Motor de dos tiempos*. Obtenido de <https://campuseducativo.santafe.edu.ar/wp-content/uploads/Motores.pdf>
- Cárdenas Ramos, E. J., & Kaslin Duque, J. G. (2006). *Caracterización tecnológica del parque automotor del Distrito Metropolitano de Quito y propuesta para la reforma de la normativa ecuatoriana de emisiones en fuentes móviles terrestres*.

- Repositorio de la universidad, [Escuela Politécnica Nacional, Tesis de grado], Quito. Obtenido de <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/502>
- Castillo Medina, A. G., & Silva Cortez, J. P. (2014). *Rediseño e implementación de un banco de pruebas de bombas inyectoras Diésel para el laboratorio de motores de la Escuela de Ingeniería Automotriz*. Repositorio de la universidad, [Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Tesis de grado], Riobamba. Obtenido de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/4026>
- construex. (2020). Obtenido de construex:  
[https://www.construex.com.ec/exhibidores/ultra\\_inyectores/producto/bomba\\_inyeccion\\_diesel\\_bosch\\_guayaquil](https://www.construex.com.ec/exhibidores/ultra_inyectores/producto/bomba_inyeccion_diesel_bosch_guayaquil)
- Consuegra Pacheco, S. (2007). Módulo Motores Diesel.
- Disco de levas. (2019). Obtenido de Disco de levas: <http://www.cnducoo.com/ve-pump-cam-disk.html>
- Educate. (s.f.). *Cursos online educate*. Obtenido de Sistema de inyección electrónica diésel directa: [http://cursoseducate.com/wp-content/uploads/cc\\_lecciones/2017/01/S83M0K0Y0WCQNLD.pdf](http://cursoseducate.com/wp-content/uploads/cc_lecciones/2017/01/S83M0K0Y0WCQNLD.pdf)
- Gallo Pregliasco, F. A. (02 de 06 de 2021). *Inyección diesel con bomba rotativa*. Obtenido de Inyección diesel con bomba rotativa: <https://docplayer.es/213111558-Inyeccion-diesel-con-bomba-rotativa.html>
- Ganesan, V. (2012). *Función del sistemas de alimentación*. Obtenido de <https://www.mheducation.co.in/>
- Garro, O. D. (20 de 08 de 2019). *Bomba de inyección rotativa*. Obtenido de Bomba de inyección rotativa: <https://es.scribd.com/document/507275676/Bomba-de-inyeccion-rotativa-VE>
- González Gualdrón, A. F., Mora Velásquez, J. A., & Vargas Gómez, N. O. (2016). *Bomba de inyección rotativa tipo VE*. [Universidad ECCI, Tesis de grado], Bogotá. Obtenido de <https://repositorio.ecci.edu.co/handle/001/1969>
- Ingeniería y mecánica automotriz. (14 de 9 de 2020). Obtenido de [https://www.ingenieriaymecanicaautomotriz.com/que-es-el-sistema-de-inyeccion-de-alta-presion-y-como-funciona/#google\\_vignette](https://www.ingenieriaymecanicaautomotriz.com/que-es-el-sistema-de-inyeccion-de-alta-presion-y-como-funciona/#google_vignette)
- Ingeniería y mecánica automotriz. (2019). *Ingeniería y mecánica automotriz*. Obtenido de Ingeniería y mecánica automotriz:  
<https://www.ingenieriaymecanicaautomotriz.com/funcionamiento-de-la-inyeccion-de-combustible-diesel-iyma/>



- Jhonny, C., Wellington, C., Elizabeth, T., & Maria, T. (2019). *Funciones de las partes de una bomba de inyección lineal tipo Diésel*.
- Lucas, J. C. (2024).
- Lucas, J. C. (2024).
- Lucín Figueroa, A. E. (2019). *Implementación de brida y acople al Banco de Calibración de Bombas de Inyección a Diésel COM-EMC para prueba de bomba de inyección Tipo A de Hino EB300 para camión*. [Universidad Internacional del Ecuador, Tesis de Grado], Guayaquil. Obtenido de <https://repositorio.uide.edu.ec/handle/37000/3829>
- Macías, R. E. (2017). *SISTEMAS DE INYECCIÓN*. Obtenido de <https://repositorio.uide.edu.ec/bitstream/37000/2379/1/T-UIDE-170.pdf>
- Martínez Villegas, A. (18 de Enero de 2007). *Motores de combustión interna*. Obtenido de <https://www.kimerius.com/app/download/5783856817/Motores+de+combusti%C3%B3n+interna.pdf>
- Mechatronics*. (31 de 01 de 2018). Obtenido de Mechatronics: <https://mechatronics.by/es/portfolio-items/yamz-eurosens-delta/pitania2/>
- Mora, L. T. (2018). *Bombas rotativas de inyección de émbolos radiales*. Obtenido de Bombas rotativas de inyección de émbolos radiales: <https://mecanicaautomotrizdg.wordpress.com/2018/07/25/sistema-de-alimentacion-diesel/>
- Prenninger, H. &. (2007). *Sistemas de carga y alimentación*. Obtenido de <https://www.springer.com/>
- Rodríguez Herrera, R. G. (2019). *Elaboración de un Manual Didáctico de Despiece y Armado de la Bomba Lineal Diésel Tipo PE de Seis Elementos*. [Universidad Internacional del Ecuador, Tesis de Grado], Guayaquil.
- Salas. (2009).
- Salas. (2009).
- Sanz, S. (2017). *Motores*. Editex.
- SENATI. (2006). *Afinamiento de motores Diesel (Parte I)*. Obtenido de [www.mecanicoautomotriz.org](http://www.mecanicoautomotriz.org)
- Sistema de alimentación de combustible*. (2019). Obtenido de <https://www.cam2.com.pe/single-post/2019/12/16/sistema-de-alimentaci%C3%B3n-de-combustible-y-sus-partes>

*Sistema de alimentación Dieles.* (2019). Obtenido de

[https://www.ecured.cu/Sistema\\_de\\_alimentaci%C3%B3n\\_Diesel](https://www.ecured.cu/Sistema_de_alimentaci%C3%B3n_Diesel)

Sistema de inyección diésel. (2017).

Taller Actual. (2020). *Taller*. Obtenido de Taller: <https://talleractual.com/negocios-y-autopartes-local-empresas/negocios-y-autopartes-local-empresas-institucionales/1286-el-motor-de-ciclo-diesel>