



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE
COMPROBACIÓN DE INYECTORES MECÁNICOS PARA EL
TALLER DE MAQUINARIA PESADA**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERA AUTOMOTRIZ

AUTORA:

EVELYN PATRICIA QUIMBITA QUIMBITA

Riobamba – Ecuador

2023



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE
COMPROBACIÓN DE INYECTORES MECÁNICOS PARA EL
TALLER DE MAQUINARIA PESADA**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERA AUTOMOTRIZ

AUTORA: EVELYN PATRICIA QUIMBITA QUIMBITA

DIRECTOR: Ing. VÍCTOR DAVID BRAVO MOROCHO

Riobamba – Ecuador

2023

© 2023, Evelyn Patricia Quimbita Quimbita

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, Evelyn Patricia Quimbita Quimbita, declaro que el presente Trabajo de Integración Curricular es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autora asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 19 de diciembre de 2023



Evelyn Patricia Quimbita Quimbita

C. I: 055006627-8

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Proyecto Técnico, **DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE COMPROBACIÓN DE INYECTORES MECÁNICOS PARA EL TALLER DE MAQUINARIA PESADA**, realizado por la señorita: **EVELYN PATRICIA QUIMBITA QUIMBITA**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Cristian David Redroban Dillon PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2023-12-19
Ing. Víctor David Bravo Morocho DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2023-12-19
Ing. Milton Israel Quinga Morales ASESOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2023-12-19

DEDICATORIA

Este trabajo lo dedico pensilmente a Dios por darme fuerza y sabiduría para salir delante de cada uno de los momentos de dificultad. A mis padres Celso Quimbita y Romelia Quimbita quienes me han dado aliento y fuerza para continuar, por estar conmigo en cada uno de mis logros y festejarlos, por llorar conmigo en cada uno de mis fracasos y ayudarme a levantar y nunca dejar que me rindiera. A mis hermanas Alexandra y Maritza Quimbita, sobrinos Martin y Deyvid y mi cuñado Darwin Quintuña por sus palabras de aliento en los momentos más difíciles de mi vida. A mi abuelita Esperanza Quimbita por sus consejos y palabras de aliento, por alegrarse por cada uno de mis logros. Este Proyecto Técnico es para ellos por todo el amor, cariño y apoyo que me han brindado.

Evelyn

AGRADECIMIENTO

Agradezco en primer lugar a Dios por haberme guiado por el camino del bien, a mis padres quienes han sido el pilar fundamental en mi vida, a mis hermanas, a mis sobrinos y a mi abuelita por ser las principales motivadoras de mi vida, y a toda mi familia que con su apoyo, consejos y motivación han permitido que llegue a la exitosa culminación de mi tesis y todos los docentes que me han acompañado durante el largo camino, brindándome siempre su orientación con profesionalismo ético en la adquisición de conocimientos y afianzando mi formación.

Evelyn

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiv
RESUMEN.....	xv
SUMMARY.....	xvi
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA.....	2
1.1. Planteamiento del problema.....	2
1.2. Justificación.....	2
1.3. Objetivos.....	3
1.3.1. <i>Objetivo general</i>	3
1.3.2. <i>Objetivos específicos</i>	3

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO.....	4
2.1. Motores diésel.....	4
2.1.1. <i>Ciclo de funcionamiento</i>	5
2.1.2. <i>Ciclo a volumen constante</i>	5
2.1.3. <i>Ciclo a presión constante</i>	5
2.2. Sistema de alimentación de combustible.....	6
2.2.1. <i>Bomba lineal</i>	6
2.2.2. <i>Bombas rotativas</i>	7
2.2.3. <i>Sistema Common Rail</i>	8
2.3. Tipos De Inyectores.....	9
2.3.1. <i>Inyectores de solenoide</i>	10
2.3.2. <i>Inyectores piezoeléctricos</i>	11
2.3.3. <i>Inyectores HEUI</i>	11
2.3.4. <i>Inyectores MEUI</i>	12
2.3.5. <i>Inyectores mecánicos</i>	13
2.4. Equipos de comprobación de inyectores.....	14

2.4.1.	<i>Banco para prueba de inyectores diésel Tm 510</i>	14
2.4.2.	<i>Comprobador Hartridge HH601 diésel mecánico</i>	15
2.5.	Simulación y conformado del banco de pruebas	16
2.5.1.	CAE en sistemas automotrices	16
2.5.2.	<i>Arquitectura de un banco de comprobación de inyectores mecánicos</i>	17
2.5.2.1.	<i>Diseño hidráulico</i>	17
2.5.2.2.	<i>Diseño mecánico</i>	18
2.5.2.3.	<i>Diseño eléctrico</i>	18
2.5.2.4.	<i>Circuito de control</i>	18
2.5.2.5.	<i>Diseño electrónico</i>	18

CAPÍTULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO	20
3.1.	Organigrama de actividades	20
3.2.	Modalidad de la investigación	21
3.2.1.	<i>Metodología inductiva</i>	21
3.2.2.	<i>Metodología deductiva</i>	21
3.2.3.	<i>Metodología experimental</i>	21
3.3.	Cronograma de actividades	22
3.4.	Desarrollo del proyecto	22
3.4.1.	<i>Recursos y materiales</i>	22
3.4.1.1.	<i>Talento humano</i>	22
3.4.1.2.	<i>Equipos y materiales</i>	23
3.5.	Diseño	23
3.5.1.	<i>Bosquejo de la estructura</i>	23
3.5.2.	<i>Bosquejo de la cubierta del soporte base</i>	25
3.6.	Dibujo en CAD	25
3.6.1.	<i>Dibujo del soporte base</i>	25
3.6.2.	<i>Dibujo de la cubierta del soporte base</i>	26
3.6.3.	<i>Ensamblaje del soporte base</i>	27
3.7.	Simulación	27
3.7.1.	<i>Esfuerzo y deformación</i>	28
3.7.2.	<i>Factor de seguridad</i>	28
3.8.	Estructura	29
3.8.1.	<i>Estructura metálica</i>	29
3.8.2.	<i>Estructura de la cubierta del soporte base</i>	30

3.9.	Construcción	30
3.9.1.	<i>Construcción de la estructura y cubierta del soporte base</i>	30
3.10.	Requerimientos de diseño	32
3.10.1.	<i>Física</i>	32
3.10.2.	<i>Química</i>	32
3.10.3.	<i>Matemática</i>	33
3.10.4.	<i>Cálculos relacionados</i>	33
3.10.4.1.	<i>Fuerza ejercida sobre la palanca</i>	34
3.10.4.2.	<i>Área del pistón</i>	34
3.10.4.3.	<i>Presión del líquido por el principio de pascal</i>	34
3.10.4.4.	<i>Fuerza de salida del fluido</i>	35
3.10.4.5.	<i>Volumen</i>	35
3.10.4.6.	<i>Masa del diésel</i>	36
3.11.	Construcción del comprador de inyectores mecánicos	36
3.11.1.	<i>Gata hidráulica de 4 toneladas</i>	36
3.11.2.	<i>Cañerías y conexiones</i>	39
3.11.3.	<i>Inyectores mecánicos</i>	42
3.11.4.	<i>Manómetro</i>	44
3.11.5.	<i>Depósito de combustible</i>	44
3.12.	Ensamble del comprobador de inyectores mecánicos	45
3.12.1.	<i>Implementación del comprobador</i>	48
3.13.	Pruebas de funcionamiento	48
3.13.1.	<i>Preparación del equipo comprobador de inyectores</i>	48
3.13.2.	<i>Activación del comprobador</i>	48
3.14.	Pruebas realizadas en el Inyector Mecánico	49
3.14.1.	<i>Grados de pulverización</i>	49
3.14.2.	<i>Geometría de pulverización</i>	52
3.14.3.	<i>Cálculos</i>	53
3.14.3.1.	<i>Diferencia de alturas</i>	53
3.14.3.2.	<i>Altura</i>	53
3.14.3.3.	<i>Ángulo de dispersión</i>	54
3.14.3.4.	<i>Ángulo de disparo</i>	54
3.14.3.5.	<i>Ángulo de cono</i>	54
3.14.3.6.	<i>Prueba de goteo</i>	54
3.14.3.7.	<i>Forma de chorro</i>	55
3.14.3.8.	<i>Presión de apertura</i>	56
3.15.	Manual de operación y mantenimiento	57

3.15.1.	<i>Introducción</i>	57
3.15.2.	<i>Seguridad</i>	57
3.15.3.	<i>Preparación antes de la prueba</i>	59
3.15.4.	<i>Procedimiento de prueba</i>	60
3.15.5.	<i>Mantenimiento y cuidado</i>	60
3.15.6.	<i>Notas de seguridad adicionales</i>	62

CAPÍTULO IV

4.	ANÁLISIS Y RESULTADOS	63
4.1.	Obtención de resultados	63
4.1.1.	<i>Prueba de goteo</i>	63
4.1.2.	<i>Prueba de forma de chorro</i>	64
4.1.3.	<i>Prueba de apertura</i>	65
4.1.4.	<i>Factor de seguridad</i>	66
4.2.	Análisis y discusión	66

CAPÍTULO V

5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	69
5.1.	Conclusiones	69
5.2.	Recomendaciones	70

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2- 1:	Información Técnica.....	15
Tabla 3- 1:	Cronograma de actividades.....	22
Tabla 3- 2:	Especificaciones del Gato Hidráulico	37
Tabla 3- 3:	Partes del Gato Hidráulico	37
Tabla 3- 4:	Características de las cañerías	39
Tabla 3- 5:	Dimensiones de la cañería.....	40
Tabla 3- 6:	Tipos y Dimensiones de uniones roscadas	41
Tabla 3- 7:	Partes del Inyector.....	43
Tabla 3- 8:	Presión de Inyección	43
Tabla 3- 9:	Torque de apriete.....	44
Tabla 3- 10:	Seguridad Personal.....	57
Tabla 3- 11:	Preparación del Comprobador.....	59
Tabla 3- 12:	Mantenimiento y Cuidado del Comprobador	61
Tabla 4- 1:	Recolección de datos dela prueba.....	64
Tabla 4- 2:	Recolección de datos dela prueba.....	65
Tabla 4- 3:	Recolección de datos dela prueba.....	66

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 2- 1:	Pistón en movimiento de rotación.....	4
Ilustración 2- 2:	Ciclo Otto.....	5
Ilustración 2- 3:	Ciclo de dos tiempos.....	6
Ilustración 2- 4:	Bomba Lineal.....	7
Ilustración 2- 5:	Bombas rotativas.....	8
Ilustración 2- 6:	Sistema de inyección Common Rail.....	9
Ilustración 2- 7:	Clasificación de los inyectores.....	10
Ilustración 2- 8:	Inyector electromagnético Common Rail.....	10
Ilustración 2- 9:	Inyector piezoeléctrico.....	11
Ilustración 2- 10:	Inyectores HEUI.....	12
Ilustración 2- 11:	Inyectores MEUI.....	13
Ilustración 2- 12:	Inyectores mecánicos.....	13
Ilustración 2- 13:	Funciones el Inyector Mecánico.....	14
Ilustración 2- 14:	Banco para pruebas de inyectores diésel TM 510.....	15
Ilustración 2- 15:	Comprobador Hartridge HH601 diésel mecánico.....	16
Ilustración 2- 16:	Simulación CAE.....	17
Ilustración 2- 17:	Diseño Y Construcción De Un Comprobador De.....	19
Ilustración 3- 1:	Diagrama de actividades.....	20
Ilustración 3- 2:	Marco del soporte base.....	24
Ilustración 3- 3:	Estructura completa del soporte base.....	24
Ilustración 3- 4:	Tablero de MDF.....	25
Ilustración 3- 5:	Estructura con los tubos.....	26
Ilustración 3- 6:	Cubierta del soporte base.....	26
Ilustración 3- 7:	Soporte base ensamblado.....	27
Ilustración 3- 8:	Esfuerzo y deformación del soporte base.....	28
Ilustración 3- 9:	Factor de seguridad del soporte base.....	29
Ilustración 3- 10:	Tubos de la estructura recortados.....	29
Ilustración 3- 11:	Cubierta del soporte base recortada.....	30
Ilustración 3- 12:	Limado de imperfecciones del tubo.....	31
Ilustración 3- 13:	Ensamble de las piezas.....	31
Ilustración 3- 14:	Principio de Pascal.....	32
Ilustración 3- 15:	Gato Hidráulico.....	33
Ilustración 3- 16:	Gata Hidráulica.....	36
Ilustración 3- 17:	Partes de un gato hidráulico.....	37

Ilustración 3- 18: Partes de un gato hidráulico	37
Ilustración 3- 19: Etapa de aspiración.....	38
Ilustración 3- 20: Etapa de impulsión	38
Ilustración 3- 21: Cañería	39
Ilustración 3- 22: Terminal de rosca.....	40
Ilustración 3- 23: Clasificación de uniones roscadas.....	41
Ilustración 3- 24: Tipo de roscas	41
Ilustración 3- 25: Inyector Mecánico.....	42
Ilustración 3- 26: Partes del Inyector.....	43
Ilustración 3- 27: Manómetro	44
Ilustración 3- 28: Mecanizado del tubo	45
Ilustración 3- 29: Perforación del tubo	45
Ilustración 3- 30: Simbra de soporte.....	46
Ilustración 3- 31: Soporte base de los inyectores	46
Ilustración 3- 32: Esquema de la línea de fluido	47
Ilustración 3- 33: Comprobador de Inyectores	47
Ilustración 3- 34: Radio interno del cilindro de pulverización	49
Ilustración 3- 35: Medida de los orificios del Inyector.....	50
Ilustración 3- 36: Medidas de referencia del Inyector	50
Ilustración 3- 37: Diámetro del chorro de pulverización.....	51
Ilustración 3- 38: Punto máximo y mínimo del chorro de pulverización	51
Ilustración 3- 39: Obtención de medidas	52
Ilustración 3- 40: Geometría de pulverización	52
Ilustración 3- 41: Prueba de goteo	55
Ilustración 3- 42: Forma de chorro	56
Ilustración 3- 43: Presión de apertura.....	56
Ilustración 3- 44: Diagrama proceso de prueba	60
Ilustración 4- 1: Prueba de goteo.....	63
Ilustración 4- 2: Prueba forma de chorro	64
Ilustración 4- 3: Prueba de apertura.....	65
Ilustración 4- 4: Comprobador de Inyectores Mecánicas terminado	67

ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** PLANOS DEL SOPORTE BASE
- ANEXO B:** PLANOS GATO HIDRAULICO
- ANEXO C:** CORTE DEL MATERIAL
- ANEXO D:** SOPORTE BASE FINALIZADA
- ANEXO E:** MECANIZADO DEL TUBO
- ANEXO F:** FRESADO DEL TUBO
- ANEXO G:** GATA, INYECTORES Y MANOMETRO

RESUMEN

El taller de Maquinaria Pesada de la Carrera de Ingeniería Automotriz de la ESPOCH, NO cuenta con un banco de comprobación de inyectores mecánicos, generando falencias en el diagnóstico y funcionamiento adecuado de dichos inyectores, además, el costo elevado de un banco de pruebas dificulta su adquisición, por lo tanto el objetivo del presente Proyecto Técnico es el Diseño y La Construcción de un Comprobador de Inyectores Mecánicos para el Taller De Maquinaria Pesada de la Carrera de Ingeniería Automotriz de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. La metodología implementada tuvo un enfoque inductivo, deductivo, y experimental, su construcción parte de un diseño sencillo respaldado por los cálculos matemáticos y el análisis de la factibilidad de adquisición de los recursos y materiales idóneos, se enfocará en la recolección de datos para llegar a conclusiones o generalizaciones sobre el diseño y construcción de dicho banco, de modo que éste sea capaz de efectuar las pruebas en los inyectores como pruebas de goteo, tiempo de descarga, forma de inyección, presión de apertura y calibración. Mediante estas metodologías se logró determinar la validación del banco de comprobación de inyectores mecánicos, por lo tanto permitió asegurar su capacidad para medir y evaluar de manera precisa y confiable los parámetros críticos de los inyectores el cual resalta su papel esencial en el diagnóstico, mantenimiento y reparación de inyectores en motores diésel, finalmente la elaboración de un manual de usuario y mantenimiento para el comprobador de inyectores mecánicos no solo garantiza un funcionamiento óptimo y seguro, sino que también demuestra el profesionalismo y compromiso con la calidad de dicho comprobador.

Palabras clave: <COMPROBADOR>, <DISEÑO>, <INYECTORES>, <GOTEO>, <SEGURIDAD>, <MECÁNICOS>, <PRESIÓN>, <DIÉSEL>.

0114-DBRA-UPT-2024



SUMMARY

The Heavy Machinery shop at Automotive Engineering Career of ESPOCH, does not have a mechanical injectors test bench, generating failures in the diagnosis and proper functioning of these injectors. In addition, the high cost of a test bench makes its acquisition difficult, therefore the objective of this Technical Project is the Design and Construction of a Mechanical Injectors Tester for the Heavy Machinery shop at Automotive Engineering Career of Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. The methodology implemented had an inductive, deductive, and experimental approach, its construction is based on a simple design supported by mathematical calculations and analysis of the feasibility of acquiring the appropriate resources and materials. It will focus on data collection to reach conclusions or generalizations about the design and construction of the bench, so that it will be able to perform tests on the injectors such as drip tests, discharge time, injection form, opening pressure and calibration. By means of these methodologies it was possible to determine the validation of the mechanical injector test bench, thus assuring its capacity to measure accurately and reliably and evaluate the critical parameters of the injectors, which highlights its essential role in the diagnosis, maintenance, and repair of injectors in diesel engines. Finally, the development of a user and maintenance manual for the mechanical injector tester not only ensures optimal and safe operation, but also demonstrates professionalism and commitment to the quality of the tester.

Keywords: <TESTER>, <DESIGN>, <INJECTORS>, <DROP>, <SAFETY>, <MECHANICS>, <PRESSURE>, <DIESEL>.



Lic. Sandra Paulina Porrás Pumalema Msc.

C.I. 0603357062

INTRODUCCIÓN

En el vasto mundo de la ingeniería automotriz y la mecánica, la eficiencia y el rendimiento de los motores de combustión interna desempeñan un papel fundamental en la búsqueda de la optimización de combustible y la reducción de emisiones contaminantes. Entre los componentes clave que influyen en estos aspectos se encuentran los inyectores de combustible, encargados de suministrar con precisión y en el momento adecuado la cantidad de combustible necesario para una combustión eficiente. Los inyectores mecánicos, utilizados en motores diésel y otros sistemas, presentan sus propios desafíos en términos de mantenimiento y ajuste. A menudo, la falta de herramientas de diagnóstico accesible y asequible para evaluar su funcionamiento puede dificultar la detección de problemas y la optimización de la inyección de combustible.

En este contexto, el diseño y construcción de un comprobador de inyectores mecánicos adquiere una importancia significativa. Este proyecto tiene como objetivo desarrollar un dispositivo que permita a los estudiantes de la Carrera de Ingeniería Automotriz evaluar de manera efectiva y precisa la funcionalidad de los inyectores mecánicos. A través de la medición de parámetros como la presión de inyección, el patrón de rociado y la uniformidad del flujo, se espera brindar una herramienta práctica que facilite el diagnóstico y la optimización de estos componentes esenciales. En esta propuesta, se explora los pasos clave en el proceso de diseño y construcción de un comprobador de inyectores mecánicos. Desde la investigación inicial sobre el funcionamiento de los inyectores hasta la implementación del comprobador por medio de pruebas prácticas, se examina cómo crear una herramienta valiosa para quienes buscan comprender y mejorar el rendimiento de los motores que dependen de inyectores mecánicos.

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

1.1. Planteamiento del problema

Con el transcurso de los años, los inyectores Diésel han ido experimentando una importante evolución. Los inyectores mecánicos son dispositivos utilizados en motores diésel para inyectar el combustible en los cilindros del motor en el momento adecuado y en la cantidad precisa. Los inyectores funcionan mediante la presión generada por una bomba de inyección mecánica que suministra el combustible a alta presión a través de conductos individuales hacia los inyectores.

Para la comprobación de estos inyectores se lo realiza por medio un banco de pruebas es una forma precisa y confiable de evaluar su funcionamiento. Dado que el taller de Maquinaria Pesada de la Carrera de Ingeniería Automotriz de la ESPOCH, NO cuenta con un banco de comprobación de inyectores mecánicos, generando falencias en el diagnóstico y funcionamiento adecuado de dichos inyectores, además, el costo elevado de un banco de pruebas dificulta su adquisición, para ello surge la necesidad de desarrollar un proyecto técnico que subsane estas necesidades.

1.2. Justificación

Este Trabajo Técnico tiene como finalidad facilitar una herramienta indispensable de comprobación para el Taller de Maquinaria Pesada, la cual permitirá realizar diferentes pruebas de forma directa, es por este motivo se diseñara y creara un banco de prueba de inyectores mecánicos y así facilitar el aprendizaje de una manera didáctica en el área de sistemas de alimentación de combustible diésel, en la cual se aplicara el conocimiento adquirido en el transcurso de la Carrera de Ingeniería Automotriz.

Este trabajo técnico tiene el objetivo de investigar el funcionamiento de este equipo, para planificar el diseño que permitirá dar todas las facilidades y seguridad en el momento de realizar las pruebas de inyectores mecánicos como: goteo, tiempo de descarga, forma de inyección y las de presión de apertura, entre otros, esto permite corroborar los conocimientos teóricos de los estudiantes con la práctica. Así mismo debe de ser de fácil instalación, traslado y manipulación.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Diseñar y construir un banco de comprobación de inyectores mecánicos para el taller de maquinaria pesada de la Carrera de Ingeniería Automotriz que permita realizar pruebas de goteo, presión de apertura, forma de inyección, tiempo de descarga y calibración.

1.3.2. Objetivos específicos

- Obtener referencias bibliográficas referentes a bancos de comprobación de inyectores mecánicos a partir de libros y artículos científicos relacionados.
- Modelar el banco de pruebas para los inyectores mecánicos empleando un software CAE.
- Seleccionar los materiales que serán utilizados según sus características y propiedades físicas y mecánicas y construir el banco empleando técnicas de ingeniería.
- Validar el banco de pruebas de inyectores mecánicos a partir de ensayos de presión de goteo, presión de apertura, forma de inyección, tiempo de descarga y calibración.
- Elaborar un manual de usuario y mantenimiento, para el óptimo funcionamiento del equipo.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Motores diésel

El motor diésel es un motor térmico de combustión interna en el que su encendido se logra por las temperaturas elevadas producto de la compresión del aire en el interior del cilindro. Funciona mediante la ignición de la mezcla aire-gas sin chispa. La temperatura que inicia la combustión proviene de la elevación de la presión que se produce en el segundo tiempo motor, compresión. El combustible diésel es inyectado en la parte superior de la cámara de compresión a gran presión, de esta forma se atomiza y se mezcla con el aire a alta temperatura y presión. Como consecuencia, la mezcla se quema muy rápidamente. Esta combustión causa que el gas contenido en la cámara se expanda, impulsando al pistón hacia abajo. La biela transmite este movimiento al cigüeñal, transformando el movimiento lineal del pistón en un movimiento de rotación. (Consuegra, 2007, p. 5)

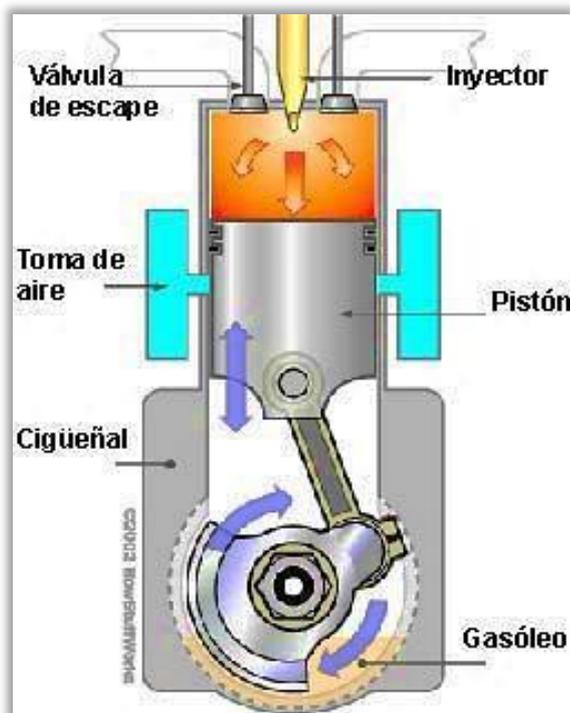


Ilustración 2- 1: Pistón en movimiento de rotación

Fuente: (Flores, 2012)

2.1.1. Ciclo de funcionamiento

Los ciclos termodinámicos son la sucesión periódica de diferentes estados de presión, volumen y temperatura que es sometido un gas dentro de una máquina o de un motor, de modo que sufre determinadas transformaciones. Todos los motores térmicos trabajan con ciclos de este tipo, como las máquinas de vapor, motores de expansión o Diésel y las turbinas de gas. (Castro, 1987, p. 35)

2.1.2. Ciclo a volumen constante

Este ciclo corresponde a los motores de cuatro tiempos que corresponde al llamado Ciclo Otto. En la carrera descendente del pistón, aspira un volumen de aire, que ingresa en una cámara, cuando el pistón sube comprime el aire que cuando alcanza el punto muerto superior se encuentra a alta temperatura, en ese momento se inyecta finamente pulverizada una cierta cantidad de combustible líquido, que a medida que ingresa, se enciende y produce una combustión a presión constante, para luego expandirse realizando la carrera útil, en este transcurso entrega trabajo, luego en la carrera ascendente se eliminan los gases de la combustión y el ciclo se inicia nuevamente al igual que en el ciclo Otto. (Consuegra, 2007, p. 9)

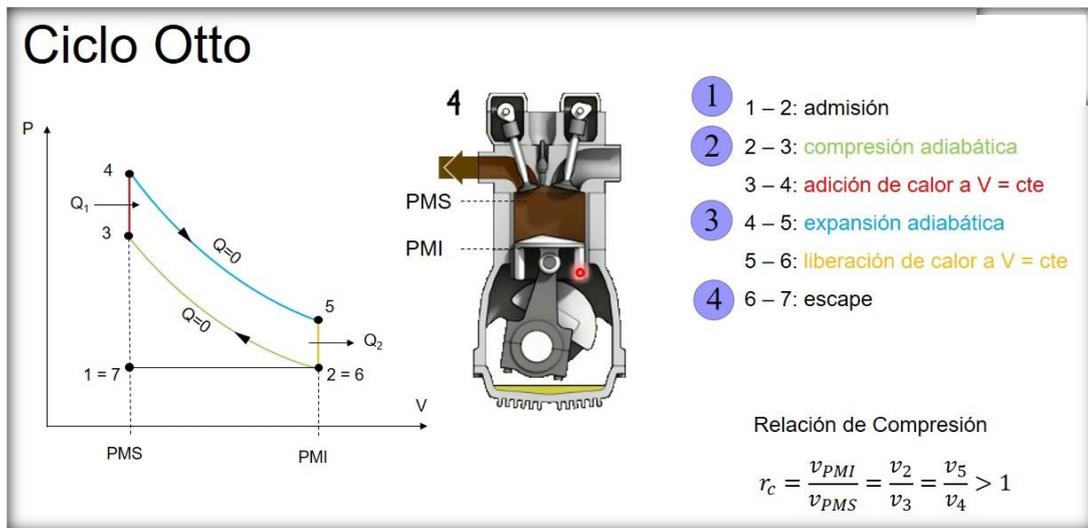


Ilustración 2- 2: Ciclo Otto

Fuente: (Consuegra, 2007)

2.1.3. Ciclo a presión constante

En el motor que ideó Rudolf Diésel funciona con varias diferencias esto hace que se proporcionen otros resultados en cuanto a presiones y volúmenes. Sabiendo que la compresión se hace con solo aire y luego el combustible será inyectado. El aire a diferencia de la mezcla

aire gasolina, puede ser sometido a muy altas compresiones de modo que esto determina el aumento de presión. Al momento que el aire es comprimido y alcanza la temperatura adecuada para la combustión se le aporta por medio de la inyección, produciendo el tiempo de combustión el cual se realiza por medio de una transformación isobárica. (Castro, 1987, pp. 39-40)

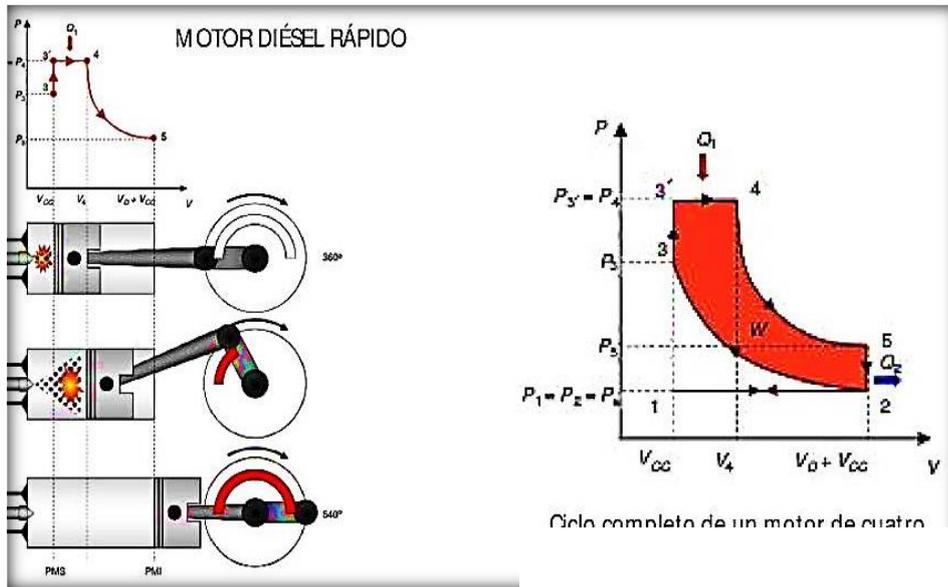


Ilustración 2- 3: Ciclo de dos tiempos

Fuente: (Piarpuezán, 2016)

2.2. Sistema de alimentación de combustible

2.2.1. Bomba lineal

También llamadas Bombas Múltiples, este tipo de bombas están constituidas por un elemento de bombeo y un embolo para cada cilindro, la bomba tendrá tantos elementos de bombeo como cilindros tenga el motor. El elemento de bombeo y el embolo comprimen el combustible para inyectar posteriormente a una determinada presión. Los émbolos suben y bajan en la acción del árbol de levas que es movido por el motor. (Gil, 2002)

La función primordial del dispositivo de inyección no es simplemente inyectar una cantidad de combustible, se debe disponer de un sistema que pueda regular el caudal de modo que la cantidad inyectada pueda variar de acuerdo con las necesidades de la carga del motor. Si manda mayor o menor cantidad de combustible de acuerdo con la potencia que se requiere en aquel momento. (Gil, 2002, pp. 16-20)

Se debe mantener siempre la presión de las tuberías de impulsión que llevan el combustible al inyector, si la presión se encuentra elevada y se encuentra en contacto con la cámara del mismo dispositivo de inyección tendría tendencia a regresar a la boba de alimentación cuando el pistón estuviera en su posición más baja. (Gil, 2002, p. 22)

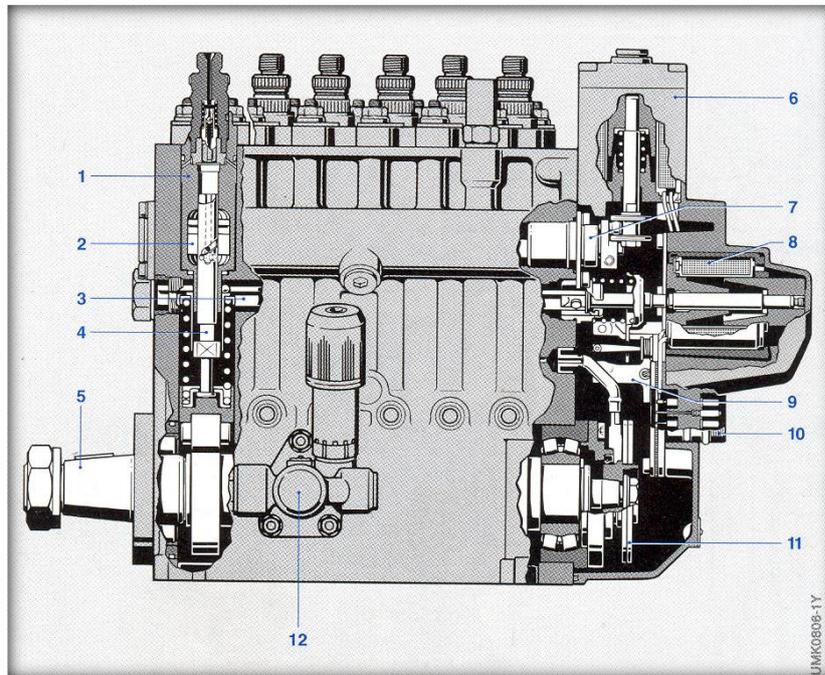


Ilustración 2- 4: Bomba Lineal

Fuente: (Full Mecánica , 2014)

- | | |
|---|---|
| 7. Cilindro de la bomba | 1. Eje de la manga de control |
| 8. Manga de control | 2. Solenoide actuador para la cremallera de control |
| 9. Cremallera de control | 3. Sensor del recorrido de la cremallera de control |
| 10. Embolo de la bomba | 4. Conector |
| 11. Eje de levas | 5. Disco para impedir la fuga de combustible |
| 12. Mecanismos actuadores del comienzo de la descarga | 6. Bomba de pre-suministro |

2.2.2. *Bombas rotativas*

Las bombas rotativas poseen un elemento para impulsar el combustible hacia el inyector de cada cilindro del motor, es conocido como cabezal hidráulico el cual gira arrastrando por el cigüeñal mediante engranajes, pistón y cadena, de la misma manera que ocurre en las bombas lineales para poder girar el eje de levas. El cabezal hidráulico es el que impulsa el combustible y lo distribuye por el circuito de presión correspondiente hacia el cilindro del motor y se encuentra en la fase de compresión. (Martí, 1996, p. 53)

Por medio de una válvula de caudal ubicada a la entrada del cabezal hidráulico se dosifica la cantidad de combustible inyectado. El avance de la inyección se consigue mediante el mecanismo hidráulico que actúa sobre el cabezal. (Martí, 1996, p. 53)

Las bombas rotativas pueden clasificarse en dos grandes grupos y cada uno de ellos se subdivide en otros dos grupos.

- Por la disposición de los émbolos de presión dentro de la bomba pueden ser:

1. Dos émbolos radiales
2. Un solo embolo axial

- Según el tipo de regulador que lleva la bomba puede ser:

1. Regulador centrífugo
2. Regulador hidráulico

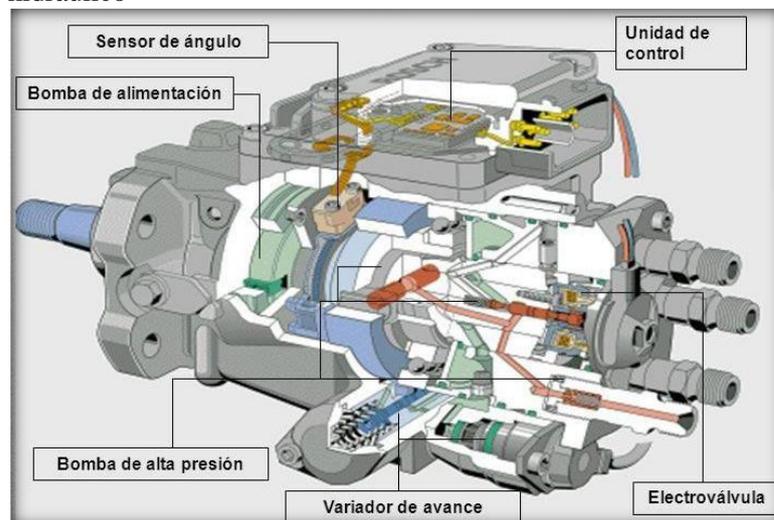


Ilustración 2- 5: Bombas rotativas

Fuente: (Gavilanez, 2020)

2.2.3. Sistema Common Rail

El Common Rail se llegó a convertir en el sistema de inyección más utilizado en los motores diésel. Una de las ventajas principales de este sistema son las amplias posibilidades de variación en la configuración de la presión de inyección y en los momentos de inyección, esto se llega a conseguir mediante la separación de la generación de presión de la bomba de alta presión y la inyección. Como acumulador de presión es utilizado el conducto en común. Es un sistema de inyección de alta presión denominada Common Rail, la cual responde de manera efectiva a las necesidades de los motores diésel. Sus altas presiones, los veloces tiempos de respuesta, y su

adaptación precisa de la inyección a las necesidades del motor, hacen que los propulsores de ciclo Diésel sean más económicos. (BOSCH, 2005, pp. 4-5)

Este sistema posee una gran ventaja en la variación de presión de inyección y el momento de inyección. Respecto a su aplicación, este sistema de inyección directa de alta presión, se utiliza en los siguientes vehículos: En automóviles, con motores de reducida cilindrada, de 800 cm^3 , 41 CV de potencia, y 100 Nm de par motor, hasta motores de 4000 cm^3 de cilindrada 24 CV de potencia, y 560 Nm de par motor. (Taller Actual , 2020)

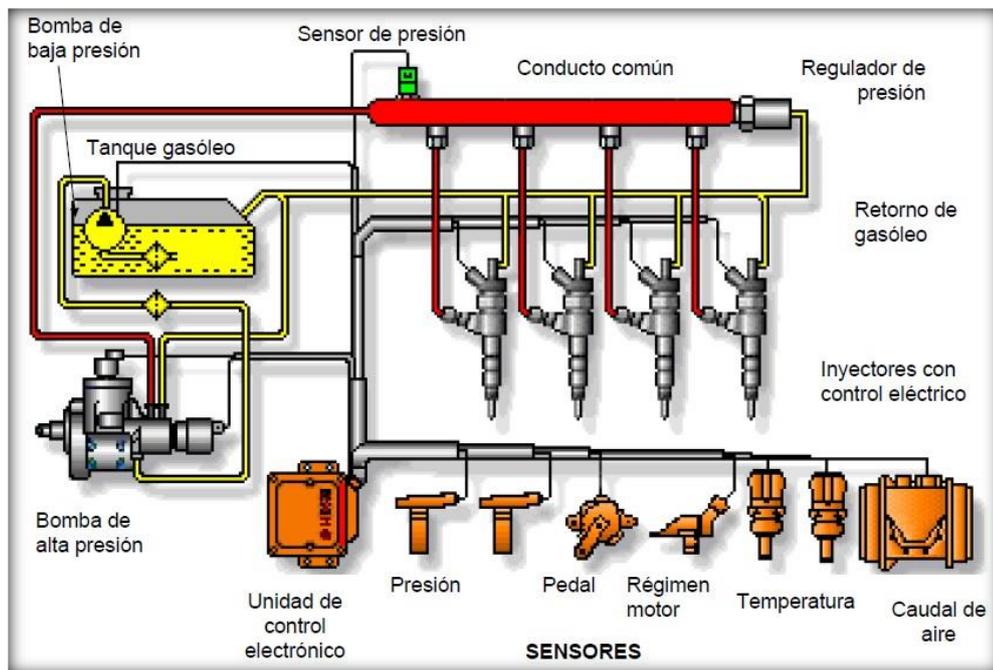


Ilustración 2- 6: Sistema de inyección Common Rail

Fuente: (BOSCH, 2005)

2.3. Tipos de inyectores

A diferencia de los motores a gasolina por carburación, en los motores diésel el método usado es la inyección en la admisión del combustible. El motor diésel inyecta de forma directa el combustible en la cámara de combustión, el combustible es inyectado a alta presión y velocidad para crear una niebla que mezcle fácilmente con el aire mejorando de esta forma el encendido. (CECAP, 2023, p. 1)

CLASIFICACIÓN DE LOS INYECTORES

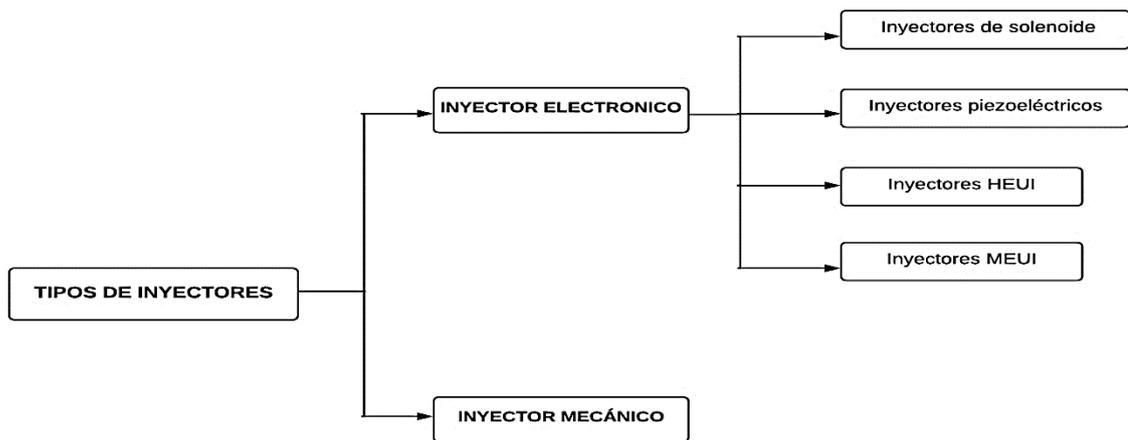


Ilustración 2- 7: Clasificación de los inyectores

Realizado por: Quimbita, E

2.3.1. *Inyectores de solenoide*

Son empleados en motores diésel y motores de gasolina, los inyectores de tipo solenoide son dispositivos electromagnéticos, los cuales utilizan el magnetismo para mover un núcleo metálico, cambiando así un voltaje eléctrico en movimiento mecánico. Funcionan mediante señales electrónicas que son enviadas por la computadora, esta señal activa un electro magneto que separa las válvulas. Cuando el magneto se desenergiza se cierran las válvulas por medio de un pequeño muelle. (CECAP, 2023, p. 1)

Existen dos tipos de inyectores, se los puede diferenciar por su nivel de resistencia interna:

- Inyector de alta resistencia de 10 a 20 Ω
- Inyector de baja resistencia de 1 a 3 Ω

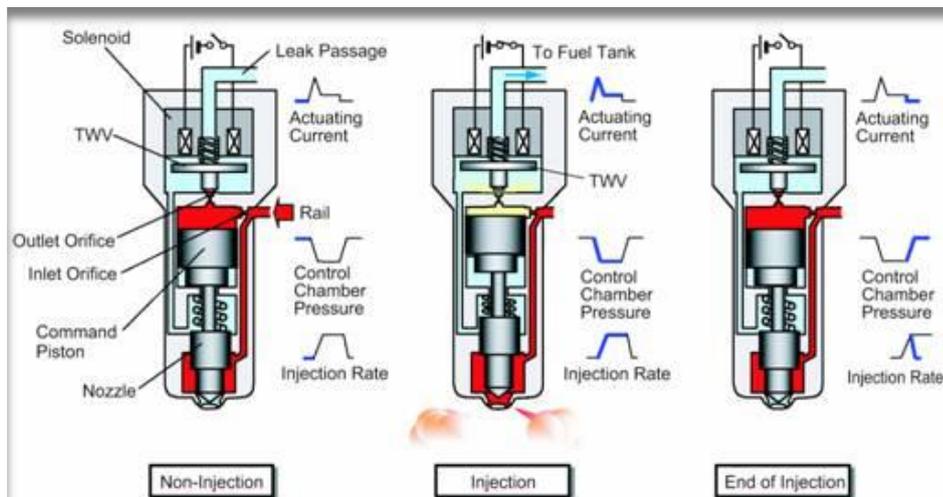


Ilustración 2- 8: Inyector electromagnético Common Rail

Fuente: (INGENIERIA Y MECANICA AUTOMOTRIZ, 2020)

2.3.2. *Inyectores piezoeléctricos*

Estos inyectores se pueden encontrar en los sistemas de inyección de tipo Common Rail de tercera generación. Los inyectores piezoeléctricos poseen de dilata cuando se aplica una corriente eléctrica, el fenómeno piezoeléctrico se da por medio de un cristal de cuarzo que cambia de tamaño cuando se somete a un impulso eléctrico. El solenoide que permitía abrir y cerrar la válvula que permite el drenaje al retorno del diésel sobre el embolo es reemplazado por un embolo piezoeléctrico. El PCM dispone de un mecanismo en su interior que las diferencias de presiones y el movimiento mecánico posibilitando la salida del combustible al cilindro. El PCM envía al piezoeléctrico una tención inicial de unos 70V por un tiempo de 0,2mseg, ya en el interior los cristales logran elevar el voltaje a 140 V, lo cual toma otros 0,2mseg y se logra con una corriente aproximada de 7 Amp, a esto se lo conoce como tención de carga y corriente de carga. Su aumento de tensión se logra gracias al contacto entre los mismos cristales los cuales logran multiplicar el efecto de voltaje. (M.Bustillos, 2010, pp. 1-2-3-4)

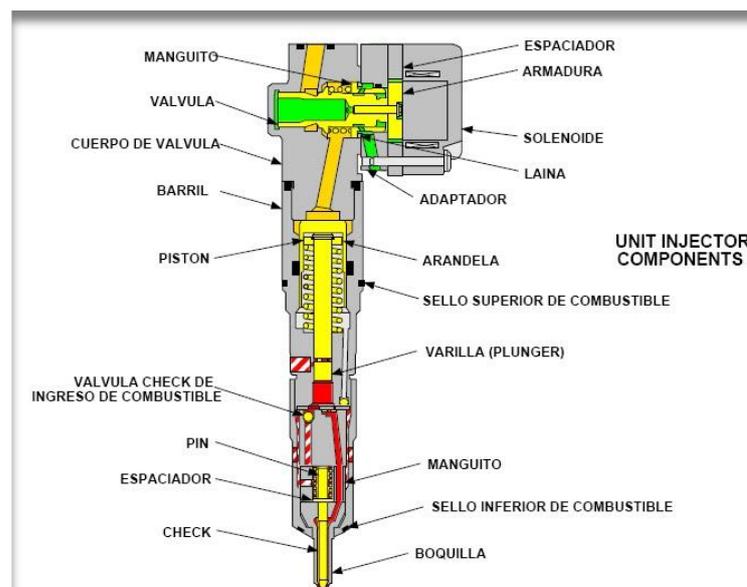


Ilustración 2- 9: Inyector piezoeléctrico

Fuente: (INGENIERIA Y MECANICA AUTOMOTRIZ, 2020)

2.3.3. *Inyectores HEUI*

La unidad de inyección controlada electrónicamente y accionada hidráulicamente (HEUI) es un sistema de inyección de combustible en motores diésel. Este sistema de inyección se lo puede encontrar generalmente en los motores CAT, los inyectores HEUI funcionan con energía hidráulica la cual es proporcionada por el mismo combustible en lugar de la energía mecánica que es proporcionada mecánicamente por un árbol de levas y balancines. (Casa, 2020)

El sistema de inyección HEUI funciona extrayendo el combustible del tanque con la bomba de alta y baja presión. La presión hidráulica es obtenida mediante un diagrama accionado por aceite, presiona e inyecta la cantidad de combustible dentro del motor. La válvula del solenoide se acciona para controlar el flujo de aceite a la alta presión que se aplica a la parte superior del pistón intensificador en el inyector. Esto llega a aumentar las presiones del inyector de 1250 a 1800 bar o 18000 a 24000 psi. (Tigse, 2014)

El sistema de inyección HEUI está constituido por los siguientes componentes:

- Circuito de combustible de baja presión.
- Circuito de accionamiento del inyector de alta presión
- Circuito electrónico



Ilustración 2- 10: Inyectores HEUI

Fuente: (G&G Lab Diesel, 2022)

2.3.4. Inyectores MEUI

Es un sistema de combustible que es controlado electrónicamente, la bomba de inyección, las tuberías y los inyectores que son utilizados en los motores mecánicos fueron reemplazados por un inyector unitario electrónico hidráulico en cada cilindro. Los componentes electrónicos del inyector HEUI son muy similares a los del sistema de combustible EUI. Sin embargo, en el sistema HEUI, los inyectores no se accionan mediante un árbol de levas. (Vargas, 2013)

Los inyectores MEUI trabajan de dos maneras, actuando hidráulicamente y controlado electrónicamente. Aumenta el control de la relación de aire y combustible y de igual manera el tiempo de inyección. Tiene la función de presurizar y suministrar el combustible desde los 65 psi hasta los 23500psi, atomiza el combustible mediante los agujeros del inyector TIP inyecta la cantidad correcta de combustible atomizado en la cámara de combustión y el combustible es dispersado igualmente por toda la cámara de combustión. (Abby, 2019)



Ilustración 2- 11: Inyectores MEUI

Fuente: (Reveco, 2011)

2.3.5. *Inyectores mecánicos*

Son los más antiguos entre los inyectores del sistema Diésel, el funcionamiento de los inyectores mecánicos se realiza por un sistema de válvulas de rápida acción, el cual permite llevar el combustible sobre el cono del levantamiento de la aguja. Cuando la presión es superior a generada por el resorte de presión, la aguja se levanta y el combustible penetra en la cámara de combustión. Al elevarse la aguja esta presenta una superficie mayor por el cono de estanqueidad, realizando una presión de cierre ms suave. (Santos, 2018)



Ilustración 2- 12: Inyectores mecánicos

Fuente: (G&G Lab Diesel, 2022)

Las funciones el inyector mecánico son las siguientes:

- Efectuar la pulverización del combustible entregado por la bobina inyectora en la cámara de combustión del motor.
- Dosificar la cantidad exacta de combustible.
- Acondicionar el combustible y preparar la mezcla.
- Definir el orden de la inyección caudal y ángulo de fase.
- Evitar el reflujos de gases de escape hacia el inyector.

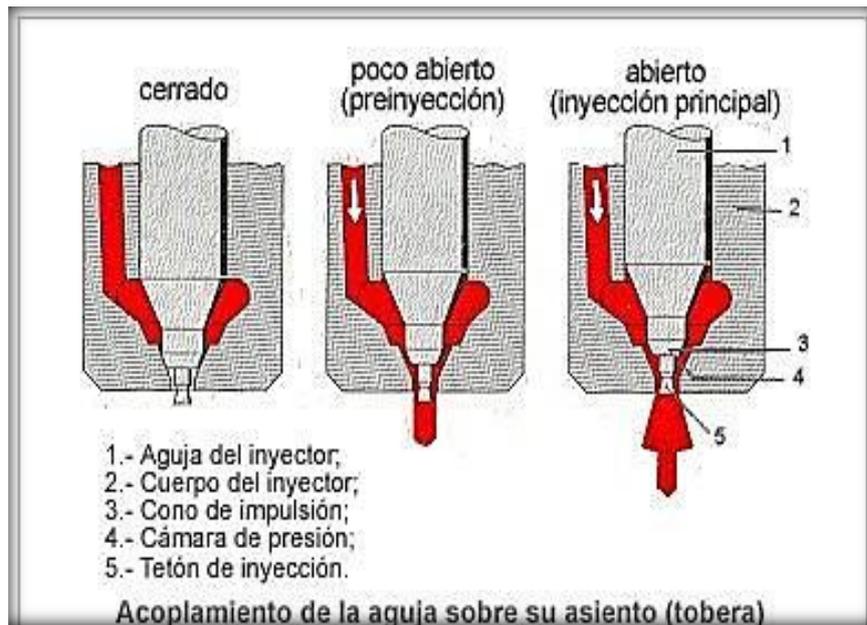


Ilustración 2- 13: Funciones el Inyector Mecánico

Fuente: (Santos, 2018)

Las condiciones para el funcionamiento del inyector mecánico son las siguientes:

- Duración de la inyección es de 1 a 2 *miliisegunos*
- Presión dentro del inyector es aproximadamente de 2000 *Bar*
- Temperatura de combustión aproximada de 1000C°
- Velocidad de pulverización aproximada de 2000 *Km/h*
- Vida útil es de 1 millón de carreras en camión
- Caudal de 2 a 350 $\frac{mm^3}{carrera}$

2.4. Equipos de comprobación de inyectores

2.4.1. Banco para prueba de inyectores diésel Tm 510

Es un equipo que permite realizar pruebas a inyectores, válvulas reguladoras de presión de alta y baja también a sensores de presión en el riel, utilizados en los sistemas de inyección de

combustible Diésel Common Rail electrónico. Este banco de pruebas permite obtener resultados precisos y completos, a través del software de control para PC, el Common Rail PC, también compatibles con TM508. (Correa, 2020)



Ilustración 2- 14: Banco para pruebas de inyectores diésel TM 510

Fuente: (Correa, 2020)

Tabla 2- 1: Información Técnica

Alimentación	220V/380V 50/60Hz
Consumo	5000VA
Capacidad de depósito de fluido	7 litros
Líquido de prueba	ISO 4113/SAE J967
Presión de prueba máxima	2000 bar
Dimensiones	1400x1070x660mm
Peso	160kg

Realizado por: Quimbita Evelyn, 2023.

2.4.2. Comprobador Hartridge HH601 diésel mecánico

El comprobador de toberas HH601 funciona mediante un manejo manual brindando un resultado óptimo al momento de realizar el mantenimiento y comprobación de las toberas de los inyectores diésel. Su cámara iluminada de pulverización presenta un extractor de gases que trabaja por medio de aire y una válvula de control de caudal para realizar las diferentes pruebas de funcionamiento, también presenta una abrazadera para la fijación de las toberas para poder realizar los ensayos sin montar el inyector de forma completa. (Ordoñez & Quichimba, 2022, pp. 25-26)

Las pruebas que se pueden realizar en este banco son las siguientes:

- Control e presión
- Control de fugas o estanqueidad
- Control de pulverización y dirección de chorro



Ilustración 2- 15: Comprobador Hartridge HH601 diésel mecánico

Fuente: (Ordoñez & Quichimba, 2022)

Este tipo de pruebas se los realiza con el fin de ahorrar combustible, evitar sobrecalentamientos, vibraciones por auto detonaciones y disminuir las emisiones de gases, con el objetivo de llegar a prolongar la vida útil del motor al presentar una buena combustión. (Ordoñez & Quichimba, 2022, pp. 25-26)

2.5. Simulación y conformado del banco de pruebas

2.5.1. CAE en sistemas automotrices

Son sistemas que permiten realizar diseños de objetos simples y objetos tridimensionales como diseños de piezas mecánicas, diseño de obras civiles, arquitectura, urbanismo etc. Por medio de una computadora, teniendo ventajas como la interactividad y facilidad de crear de crear diseños, la posibilidad de simular el comportamiento del modelo, antes de la construcción del prototipo, modificando si es necesario, sus parámetros. La creación de planos con los diferentes tipos de vistas, detalles y secciones. (Rojas & Salas, 2015, p. 40)

Un sistema CAD debe realizar las siguientes funciones:

- Definición interactiva del objeto.
- Visualización múltiple.
- Cálculo de propiedades y simulación.
- Modificación del modelo.
- Generación de planos y documentación.
- Conexión con CAM.

Los programas CAD pueden alcanzar lo siguiente:

- Incrementar la productividad del ingeniero
- Mejorar la calidad del diseño
- Mejorar la comunicación a través de la documentación
- Crear una base de datos para la manufactura

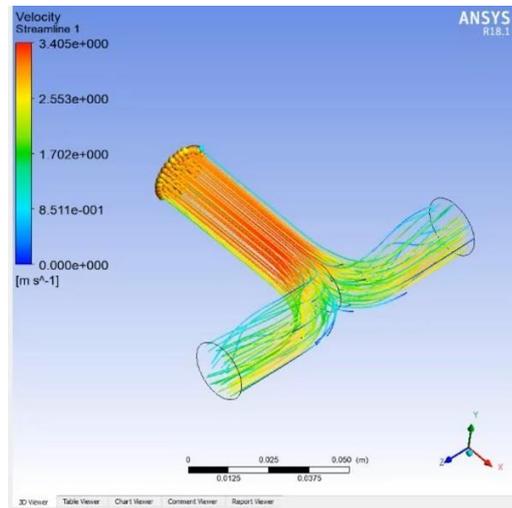


Ilustración 2- 16: Simulación CAE

Fuente: (Altair, 2023)

2.5.2. *Arquitectura de un banco de comprobación de inyectores mecánicos*

La arquitectura de los bancos de comprobación de inyectores mecánicos puede llegar a variar según el fabricante. En este caso se tiene un comprobador de inyectores de grupos electrógenos de motor serie 3500 Caterpillar que tiene la siguiente Arquitectura:

2.5.2.1. *Diseño hidráulico*

Este diseño se lo realizo con la ayuda de Automati3n Studio 5.2, para la construcci3n de este dise1o hidr1ulico se utilizo un tanque de 48 *litros*, una bomba de transferencia de 21 *lt/min*,

un filtro de aspiración de 25 *um*, un filtro de retorno de 125 *um*, una válvula reguladora de presión de 50 – 300 *psi*, mangueras hidráulicas de 300 *psi*. (Gusmán, et al., 2014, p. 1)

2.5.2.2. *Diseño mecánico*

Para el diseño mecánico de la estructura del banco de pruebas E.U.I. y M.U.I., se utilizó el programa de diseño SolidWorks, el cual permite el desarrollo de diseños y permite realizar cálculos rápidos y exactos. (Gusmán, et al., 2014, p. 2)

2.5.2.3. *Diseño eléctrico*

El circuito de fuerza se compone de fusibles, contactos de la línea y elementos calentadores de las protecciones térmicas. Por el circuito de fuerza la energía eléctrica de la corriente trifásica va al devanado del estator gobernado. (Gusmán, et al., 2014, p. 3)

2.5.2.4. *Circuito de control*

El circuito de mando del arrancador se compone de un cuadro de dos botones: (arranque) y (stop), que conecta la bobina del interruptor magnético el bloque de contacto y los contactos de la protección térmica, el circuito de mando sirve para gobernar el variador. (Gusmán, et al., 2014, p. 3)

2.5.2.5. *Diseño electrónico*

Tiene una implementación de 8 partes bien definidas que son:

- Entrada de alimentación.
- Oscilador 16MHz.
- Botón de reseteo.
- Visualizador LCD de 16x4 presenta información.
- Zócalo de programación.
- Entrada para Sensor óptico.
- Botonera.
- Salidas para inyector, servomotor y led's de apoyo.



Ilustración 2- 17: Diseño Y Construcción De Un Comprobador De Grupos Electr6genos De Motor Serie 3500 Caterpillar

Fuente: (Gusm3n, et al., 2014)

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Organigrama de actividades

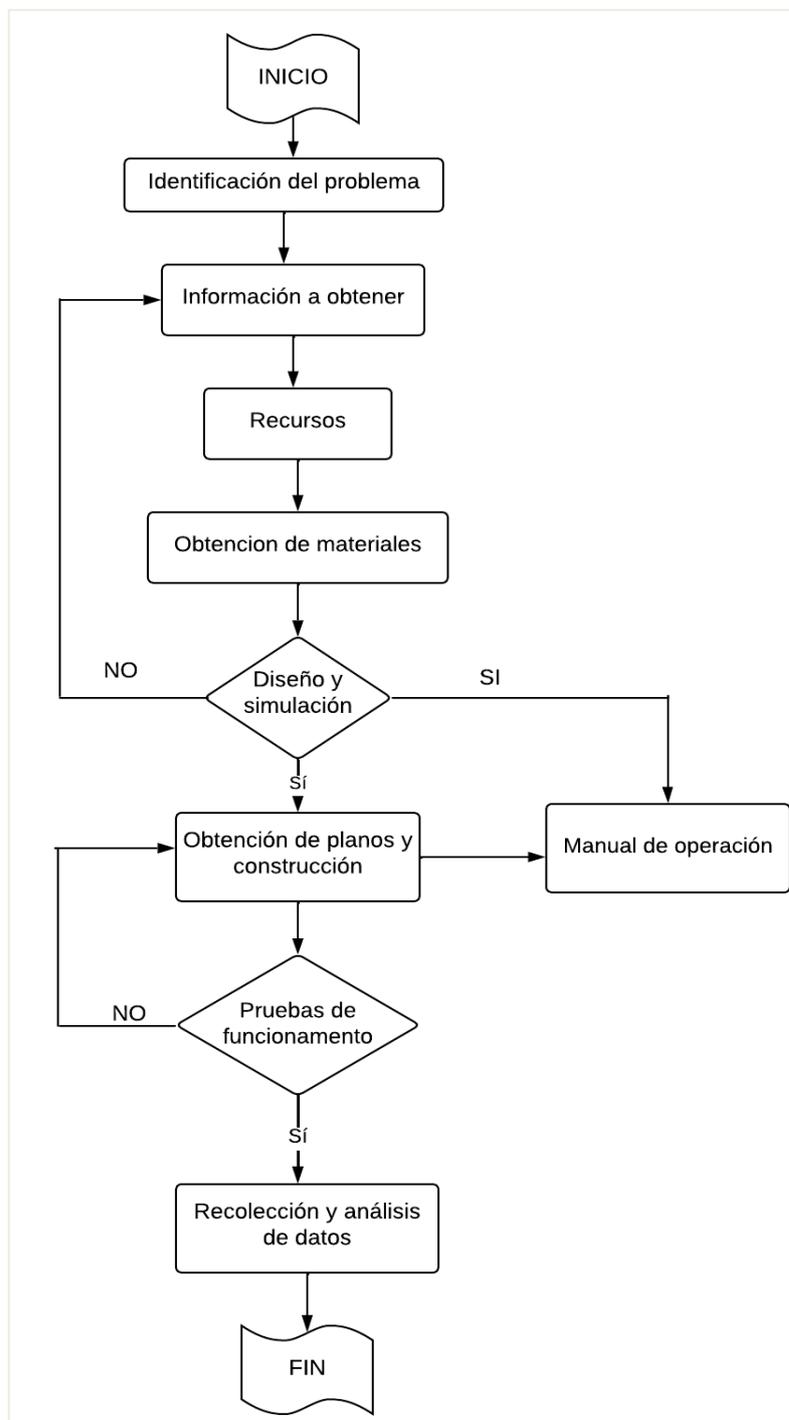


Ilustración 3- 1: Diagrama de actividades

Realizado por: Quimbita Evelyn, 2023.

3.2. Modalidad de la investigación

En el presente trabajo técnico se utilizó la investigación inductiva, deductiva, y experimental.

3.2.1. Metodología inductiva

Se enfoca en el tipo de investigación que se utilizara para generar teorías o principios generales a partir de observaciones y casos específicos. Se basa en la recolección y análisis de datos con el objetivo de identificar patrones, regularidades o tendencias que permitan inferir principios generales. Este método servirá para el diseño y construcción de un banco de comprobación de inyectores mecánicos, el cual se enfocará en la recolección de datos para llegar a conclusiones o generalizaciones sobre el diseño y construcción de dicho banco. Se realizará una observación detallada de los procesos relacionados con la comprobación de inyectores mecánicos en el taller de maquinaria pesada. Esto puede incluir el análisis de los inyectores existentes, los métodos de prueba utilizados, las herramientas y equipos empleados. También se pueden recopilar datos sobre los requisitos técnicos y las necesidades específicas del taller. (Romero, 2011, p. 54)

3.2.2. Metodología deductiva

Se enfoca en el razonamiento lógico para llegar a conclusiones o inferencias. Para este tipo de investigación se basará en una teoría ya existente, dado que no se desea descubrir nuevas teorías, sino más bien confirmar o refutar la existente, a partir de estas premisas se realizarán deducciones lógicas para obtener deducciones específicas. Se partió desde la teoría existente sobre los inyectores mecánicos y los principios de funcionamiento de los sistemas de inyección de combustible. Esto puede incluir conceptos sobre presión de inyección, caudal, atomización del combustible, entre otros aspectos relacionados. Con base en la teoría existente y los principios fundados, se establecen las premisas iniciales para el diseño y construcción del banco de comprobación. Estas premisas pueden incluir la necesidad de medir y controlar la presión de inyección, la capacidad de generar diferentes caudales de combustible, entre otros aspectos relevantes. (Romero, 2011, p. 54)

3.2.3. Metodología experimental

Tiene un enfoque de investigación en la cual utilizara el estudio de las relaciones causa-efecto entre variables. Para el diseño y construcción de un banco de comprobación de inyectores mecánicos se llevará a cabo un proceso sistemático de pruebas y errores, donde se realizan experimentos controlados para evaluar diferentes enfoques del diseño y la construcción del

banco. Se desarrolla el prototipo del banco de comprobación, utilizando diferentes enfoques de diseño y construcción. El prototipo representara una condición experimental diferente, donde se manipulan una o varias variables mientras se mantienen las demás constantes. Con base en los resultados y análisis de los datos, se toman decisiones sobre qué enfoques del diseño y construcción es efectivo o no. Se pueden realizar ajustes en el diseño y construcción del banco de comprobación. (Romero, 2011, p. 54)

3.3. Cronograma de actividades

Tabla 3- 1: Cronograma de actividades

ACTIVIDAD	SEMANA 1	SEMANA 2	SEMANA 3	SEMANA 4	SEMANA 5	SEMANA 6	SEMANA 7	SEMANA 8	SEMANA 9	SEMANA 10	SEMANA 11	SEMANA 12	SEMANA 13	SEMANA 14	SEMANA 15	SEMANA 16
Obtención de referencias bibliográficas	■															
Recolección de información técnica sobre banco de pruebas de inyectores.		■														
Investigación de costos de cada uno de los materiales.			■													
Diseño y simulación de la estructura en el Software.				■	■											
Adquisición de los materiales						■										
Implementación de los elementos de medición							■									
Construcción de la estructura.								■	■							
Montaje de cada una de las piezas										■	■					
Comprobación del funcionamiento												■	■			
Mejora del banco														■		
Elaboración del documento final															■	■

Realizado por: Quimbita Evelyn, 2023.

3.4. Desarrollo del proyecto

3.4.1. Recursos y materiales

3.4.1.1. Talento humano

En el presente proyecto técnico el talento humano involucrado está conformado por los Docentes Ing. David Bravo como director del proyecto, Ing. Milton Quinga como asesor del proyecto y la estudiante Evelyn Quimbita como autora directa del proyecto. Las personas mencionadas que participaran en la elaboración del banco de comprobación tienen una influencia positiva para llegar a construir el dicho equipo.

3.4.1.2. Equipos y materiales

En la construcción de la estructura metálica se utilizó un tubo mecánico cuadro de 1 *plg* con un recubrimiento galvanizado, el cual cumple la norma de fabricación NTE INEN 2415 y ASTM A36. Para la parte en la cual se ubicara el comprobador se utiliza un tablero de MDF de 10*mm*, 80 *cm* de largo y 70 *cm* de ancho. Se utilizó diferentes equipos eléctricos para recortar el tubo y el tablero MDF como una amoladora, una sierra erétrica y un taladro, con el fin de obtener cortes adecuados y precisos para que las piezas encajen adecuadamente. Para la unión de la estructura metálica se utilizó una soldadora de arco, la cual permitirá unir cada una de las piezas metálicas recortadas y poder formar la estructura del soporte base, para la unión del MDF se utilizó tornillos negros para madera de siete por dos pulgadas y media.

El elemento principal utilizado para la constitución del banco de comprobación es una gata hidráulica, el cual permitirá simular trabajo que realiza la bomba de alta presión. Se utilizó un depósito para el diésel, un manómetro con una escala graduada en BAR (unidad de presión) y PSI (Libra- Fuerza por pulgada cuadrada), el cual permitirá observar a que presión se empieza abrir el inyector, una llave de paso para la exclusión en el manómetro, una cañería para la conexión de los inyectores, una palanca de 30 *cm*, la cual ayudara a ejercer la presión para que el líquido empiece a fluir, se utilizó inyectores mecánicos los cual irán acoplado en las cañerías para poder realizar las respectivas comprobaciones y finalmente también se implementara un recipiente en el cual se recogerá el combustible que es pulverizado por medio del inyector al realizar las respectivas pruebas.

3.5. Diseño

En la construcción del comprobador de inyectores mecánicos se llevó a cabo varias fases, iniciando con el bosquejo del soporte base, seguido por la simulación del soporte base, la selección de los materiales que se utilizara, la construcción del banco final, comprobación y funcionamiento.

3.5.1. Bosquejo de la estructura

Con la ayuda de un software CAE en este caso se utilizó SOLIDWORKS para el diseño de esta estructura de alambre, se utilizó las herramientas de croquis 2D y 3D, para el bosquejo inicial que se realizo es la estructura alámbrica del soporte base la cual dará estabilidad al comprobador, se utilizó las siguientes herramientas, miembros estructurales, piezas soldadas. Para empezar el bosquejo de la estructura primero se debe definir un sistema de coordenadas o

el plano en el cual se va a trabajar en este caso se utilizó el plano alzado, se dibuja uno de los marcos en el cual se ubica también un travesaño el cual ayudara como refuerzo en la estructura.

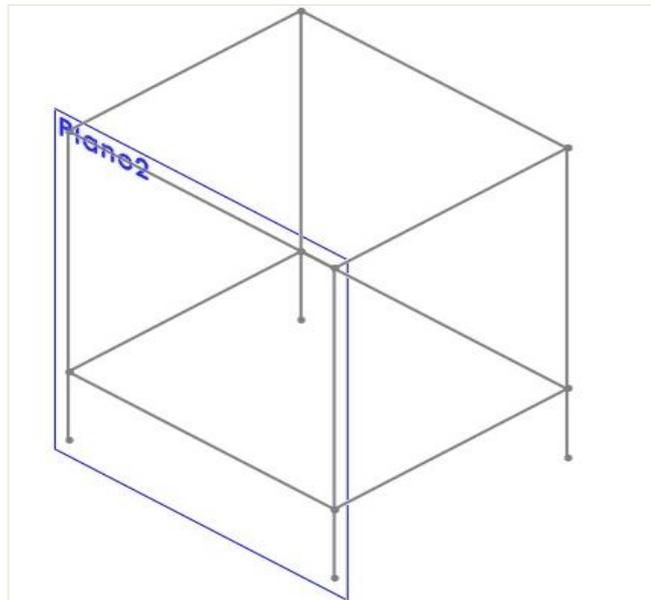


Ilustración 3- 2: Marco del soporte base

Realizado por: Quimbita Evelyn, 2023.

Para realizar la otra parte de la estructura se utiliza la herramienta de estructura de referencia la cual permitirá crear un nuevo plano para poder crear un nuevo croquis tomando como referencia el plano alzo, dando una distancia de 70 *cm*. Para no realizar en el nuevo croquis la estructura línea por línea, se utilizó el convertidor de entidades esto permite copiar un croquis ya existente en un croquis nuevo. Finalmente se crea un croquis 3D, con la opción de línea se une las estructuras alámbricas.

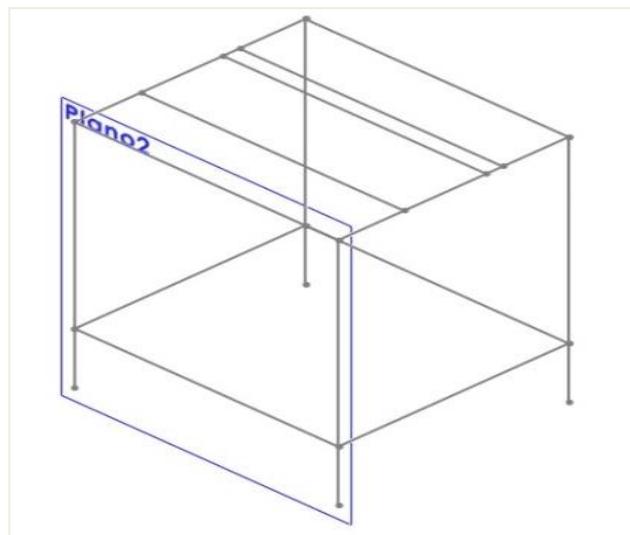


Ilustración 3- 3: Estructura completa del soporte base

Realizado por: Quimbita Evelyn, 2023.

3.5.2. *Bosquejo de la cubierta del soporte base*

Con la ayuda de un software SOLIDWORKS se realizó el diseño de esta estructura de alambre de la cubierta del soporte base, se utilizó las herramientas de croquis 2D y 3D. Para el bosquejo de la estructura se utilizó un plano de planta, se ubica el plano en la vista superior, se creó un croquis y con la herramienta de cuadrado centro, finalmente se creó un cuadrado.

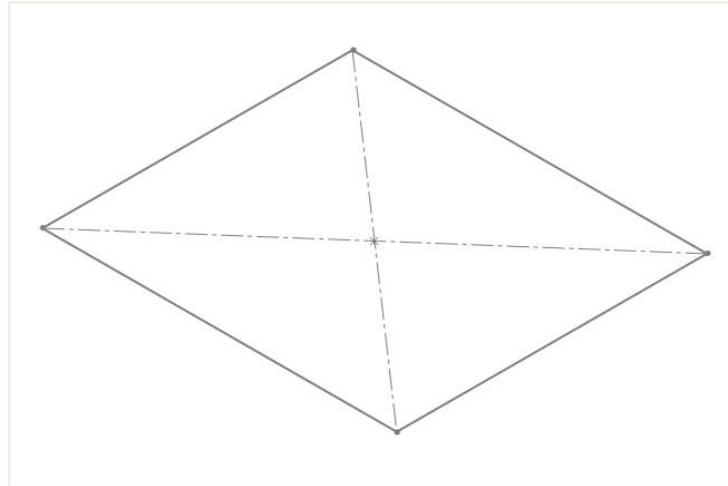


Ilustración 3- 4: Tablero de MDF

Realizado por: Quimbita Evelyn, 2023.

3.6. Dibujo en CAD

Para realizar los dibujos se utilizó el software SOLIDWORKS, el cual permite realizar los bosquejos de una manera fácil, la cual permitirá realizar modificaciones y por ultimo asignar los materiales correspondientes que se utilizarán para la construcción de la estructura del soporte base y la mesa en la que ira montada el comprobador de inyectores mecánicos.

3.6.1. *Dibujo del soporte base*

Creado el bosquejo de la estructura del soporte, con la herramienta de cota inteligente se dará las medidas para la construcción del comprobador las cuales se las darán en *mm* ya que en SOLIDWORKS trabajara en este sistema de unidades, para la altura del soporte se asignó un medada de *900 mm de alto*, *800 mm de ancho* y *700 mm de largo*, se asignara el material en cada una delas estructuras en este caso para la estructura del soporte se utilizara un tubo mecánico cuadro de *1 pulg* con un recubrimiento galvanizado, el cual cumple la norma de fabricación NTE INEN 2415 y ASTM A36.



Ilustración 3- 5: Estructura con los tubos

Realizado por: Quimbita Evelyn, 2023.

3.6.2. *Dibujo de la cubierta del soporte base*

Con el bosquejo de la cubierta del soporte base, con la cota inteligente se dio las medidas requeridas para la construcción de esta cubierta las culas son con cota inteligente se dio las siguientes medidas, *800 mm de largo* y *800 mm de ancho*, se realizó la operación de extruir saliente base desde el plano de croquis hasta plano medio con un espesor de *9 mm*, para le cubierta se asignara el material en este caso será MDF.



Ilustración 3- 6: Cubierta del soporte base

Realizado por: Quimbita Evelyn, 2023.

3.6.3. *Ensamblaje del soporte base*

Por último se realizará el ensamble de las piezas, con la ayuda del software SOLIDWORKS se abra la opción de ensamble y se importa las piezas diseñadas con anterioridad, se selecciona en primer lugar la cubierta del soporte base se prende cada una de los planos, se procede a quitarla relación fija que tiene la cubierta con la opción flotar, se selecciona una de las caras y con control, se selecciona el plano alzado, se da una posición de relación coincidente, finalmente se apaga los planos y solo se deja activado el plano alzado. Se inserta la estructura del soporte base, se selecciona una de cada de la estructura y del soporte base se da relación de posición y se acepta para finalizar el ensamble.



Ilustración 3- 7: Soporte base ensamblado

Realizado por: Quimbita Evelyn, 2023.

3.7. Simulación

Una vez obtenido el ensamble del soporte base en SOLIDWORKS, se importó el diseño al programa ANSYS, para realizar los deferentes análisis en el diseño del soporte base. En este caso se realizó tres análisis como son Esfuerzo y deformación, desplazamiento y factor de seguridad. Con este análisis permitirá saber si la estructura realizada es óptima y soportará la carga sin ningún problema, también permitirá saber si el material asignado es el adecuado para ese tipo de cargas.

3.7.1. Esfuerzo y deformación

Los mapas de deformación representan cómo cambia la geometría del modelo debido a las cargas aplicadas. Se obtuvieron los valores de los esfuerzos principales, que son los esfuerzos máximos $1,497 * 10^{004}$ y mínimos $1,000 * 10^{-023}$ en cada punto del modelo. Los resultados incluyen información sobre cómo se deforman y desplazan diferentes partes del modelo bajo las cargas aplicadas. Estos son criterios de falla que combinan los componentes de los esfuerzos para evaluar si un material fallará basado en una combinación de tensiones.

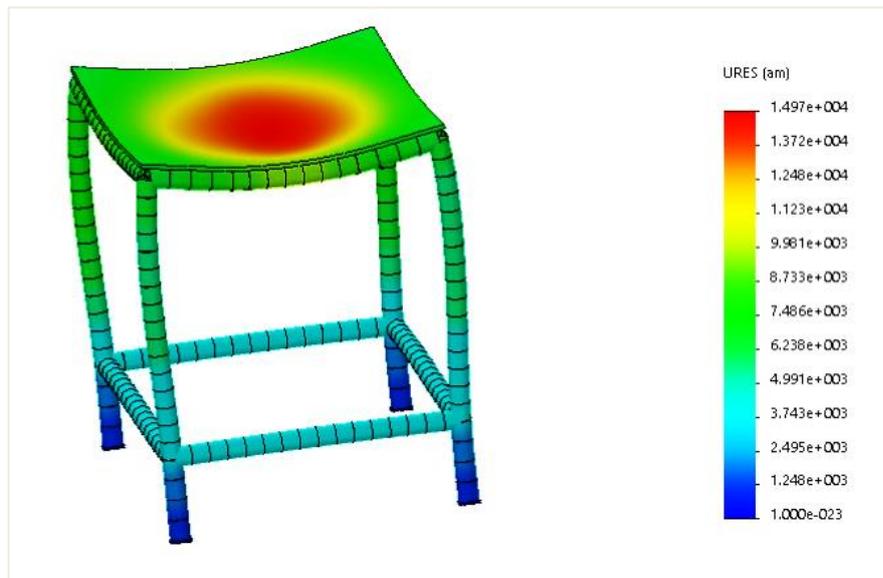


Ilustración 3- 8: Esfuerzo y deformación del soporte base

Realizado por: Quimbita Evelyn, 2023.

3.7.2. Factor de seguridad

En la ilustración siguiente muestra el análisis realizado del factor de seguridad en el soporte base, su valor mínimo es de 1,04 y al ser mayor a 1 se puede afirmar que su estructura es segura y puede soportar cargas sin ningún problema. Un factor de seguridad mayor que 1 indica que el componente es capaz de soportar las cargas aplicadas sin fallar. Un factor menor a 1 indica que el componente podría fallar bajo las condiciones dadas.

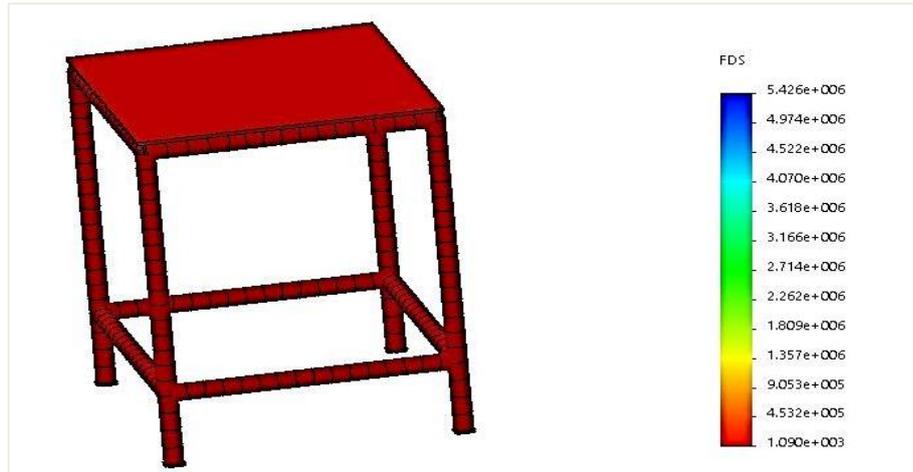


Ilustración 3- 9: Factor de seguridad del soporte base

Realizado por: Quimbita Evelyn, 2023.

3.8. Estructura

3.8.1. Estructura metálica

Para la construcción de la estructura del soporte base se utilizó un tubo mecánico cuadro de 1.5 pulg 2 de espesor, el cual cumple la norma de fabricación NTE INEN 2415 y ASTM A36. Se realizó cortes en el tubo para obtener cuatro partes de 90 cm cada una, las cuales serán utilizadas como el soporte principal del soporte base, también se realizó dos cortes de 70 cm y dos cortes de 80 cm cada uno uno, los cuales cuatro serán utilizados para asentar la cubierta del soporte base, seis cortes de 72 cm que serán para los travesaños del soporte base para un mejor soporte. Cada uno de los cortes fueron realizados con una herramienta de corte en este caso se utilizó una amoladora.

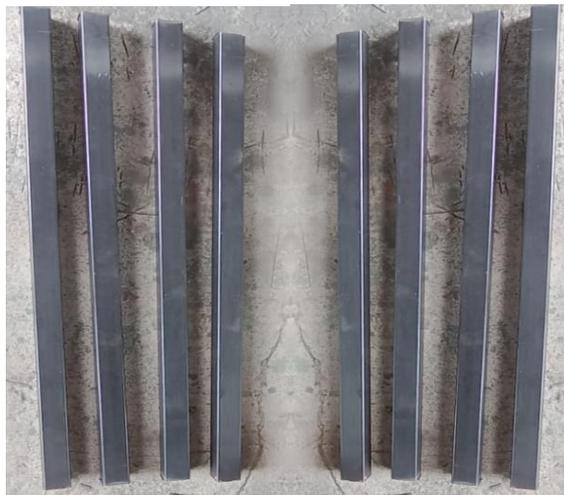


Ilustración 3- 10: Tubos de la estructura recortados

Realizado por: Quimbita Evelyn, 2023.

3.8.2. Estructura de la cubierta del soporte base

Para la cubierta del soporte base se utilizó un tablero MDF con las siguientes medidas 80 cm de largo y 80 cm ancho, con un espesor de 9 mm. Para realizar el corte de este tablero se utilizó una herramienta eléctrica en este caso una sierra eléctrica, para obtener un corte uniforme.



Ilustración 3- 11: Cubierta del soporte base recortada

Realizado por: Quimbita Evelyn, 2023.

3.9. Construcción

Para el poseso de construcción se lo realizó en tres etapas, la primera etapa consta con el diseño y simulación del soporte base, la segunda etapa consta de la construcción de la estructura del soporte base y de la cubierta del soporte base y la tercera etapa consta con la construcción del comprobador de inyectores mecánicos.

3.9.1. Construcción de la estructura y cubierta del soporte base

Para la construcción del soporte base se realizó un bosquejo con la ayuda del programa SOLIDWORKS, este bosquejo proporcionara la información adecuada sobre el material a utilizar y si las medidas serán las adecuadas para el ensamble del soporte base, una vez obtenida información adecuada se procede a se realizó lo siguiente:

Se preparó los materiales asegurándose que cada una de las piezas se encuentre cortadas de manera correcta según el diseño y las medidas establecidas posterior mente. Se realizó un proceso de lijado en los filos para eliminar cualquier imperfección en la superficie del metal.



Ilustración 3- 12: Limado de imperfecciones del tubo

Realizado por: Quimbita Evelyn, 2023.

Se coloca las diferentes piezas del soporte base según el diseño establecido, se debe alinear de una manera adecuada cada una de las piezas y tener en cuenta sus uniones y conexiones. Se realizó una fijación temporal para así facilitar el proceso de ensamble, utilizando unas abrazaderas se mantuvo las piezas en su lugar para poder realizar algún tipo de corrección en el caso de ser necesario antes de asegurar las piezas de manera definitiva.



Ilustración 3- 13: Ensamble de las piezas

Realizado por: Quimbita Evelyn, 2023.

Para asegurar las piezas se utilizó una soldadora de arco, para realizar este proceso se debe tomar las medidas necesarias para mantener nuestra seguridad y no ocasionar algún tipo de accidente, se debe utilizar un casco, guantes, mandil de soldadura y calzado adecuado. Al finalizar el proceso de suelda se debe asegurar que las uniones sean fuertes y estables. Para el ensamble de la cubierta del soporte base se utilizó varios pernos para fijarla de manera segura.

Finalmente se realizó una inspección en la cual se verificó que el soporte base se encuentre estable y nivelada, en caso de no estarlo se deberá realizar los ajustes necesarios.

3.10. Requerimientos de diseño

3.10.1. Física

Dado que el comprobador está compuesto por una cata hidráulica de 4 ton, la cual cumple el principio de Pascal el cual dice que “La presión ejercida sobre un líquido encerrado, se transmite íntegramente a cada punto de él y de las paredes del recipiente que lo contiene”. La gata hidráulica aprovecha este principio de una manera en la cual, aplicando una fuerza pequeña sobre una sección menor, se llega a obtener una fuerza más grande sobre una sección mayor, esto se produce gracias a que la presión es la misma en todo el recipiente cerrado. (Afkir, 2018)

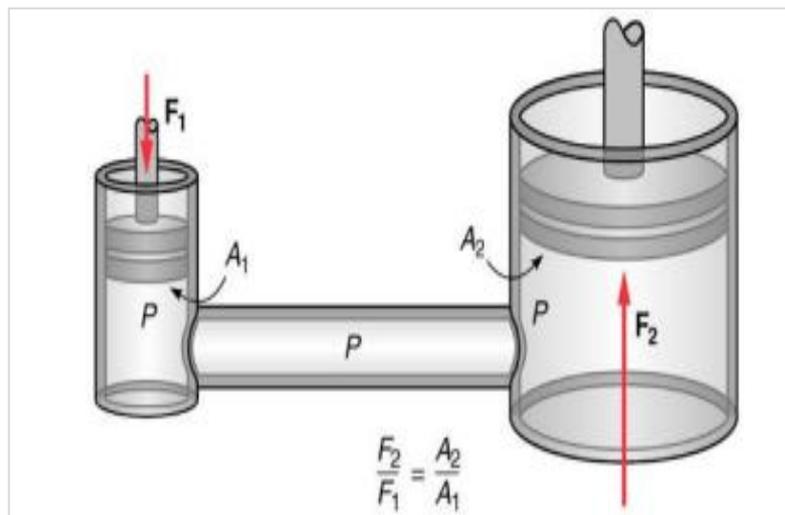


Ilustración 3- 14: Principio de Pascal

Fuente: (Afkir, 2018)

También consta con el manómetro el cual mide la presión en las unidades de PSI ($\frac{lbf}{pul^2}$).

Se tiene una fuerza que se ejerce en la palanca para producir la fuerza por debajo del pistón, ocasionando así la presión y permite la salida del combustible diésel atomizado. (Ramos, et al., 2013)

3.10.2. Química

Para la limpieza de los inyectores se necesita de un compuesto orgánico derivado del petróleo, en este caso será el diésel la cual es una mezcla de hidrocarburos de cadenas largas entre

10 y 15 *carbonos* saturados e insaturados, también contiene una pequeña proporción de compuestos aromáticos alrededor de un 20%, la formula promedio del diesel es de $(C_{12}H_{23})$ es más pesado y aceitoso que la gasolina, el diésel permite una limpieza y comprobación de los inyectores. (Ramos, et al., 2013)

3.10.3. Matemática

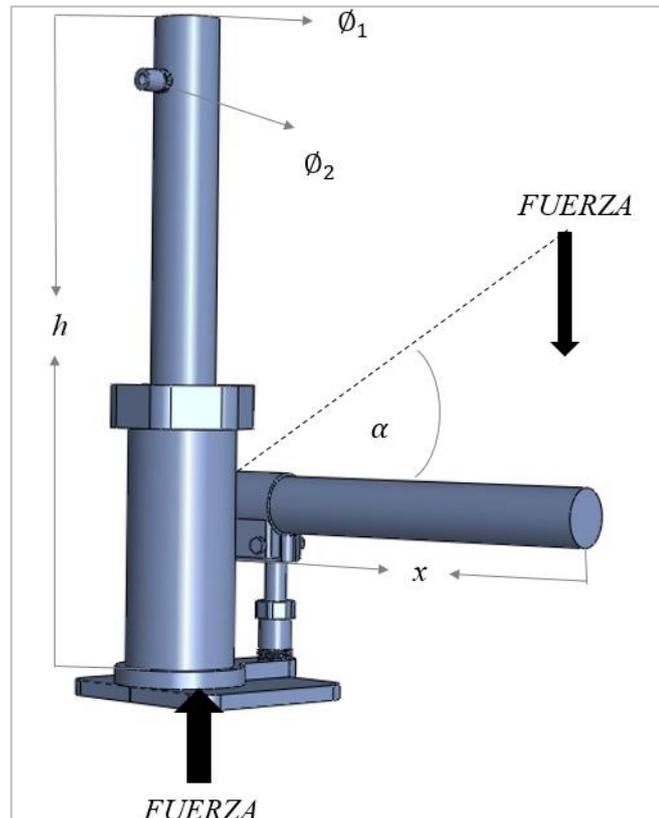


Ilustración 3- 15: Gato Hidráulico

Realizado por: Quimbita Evelyn, 2023.

Se realiza cálculos necesarios en el cual se determina lo siguiente:

- La presión que el líquido ha ejercido
- La fuerza que ejerce el pistón
- El ángulo formado por la palanca
- La gata donde se ejecuta la potencia para que el pistón sea impulsado hacia arriba

3.10.4. Cálculos relacionados

Datos

$$\alpha = 45^\circ$$

$$x = 30 \text{ cm}$$

$$h = 30 \text{ cm}$$

$$\phi_1 = 5 \text{ cm}$$

$$\phi_2 = 5 \text{ cm}$$

$$\delta_{DIESEL} = 832 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$m_{\text{mano ejerce la fuerza}} = 3 \text{ kg}$$

3.10.4.1. Fuerza ejercida sobre la palanca

$$F_{\text{palanca}} = m * g$$

$$F_{\text{palanca}} = 3 \text{ kg} * 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$F_{\text{palanca}} = 29,4 \text{ N}$$

3.10.4.2. Área del pistón

Conversión

$$\phi_1 = 5 \text{ cm} * \frac{1 \text{ m}}{100 \text{ cm}}$$

$$\phi_1 = 0,05 \text{ m}$$

Área

$$A_{\text{pistón}} = \pi * \phi_1^2$$

$$A_{\text{pistón}} = \pi * (0,05 \text{ m})^2$$

$$A_{\text{pistón}} = 1,96 * 10^{-3} \text{ m}^2$$

3.10.4.3. Presión del líquido por el principio de pascal

Conversión

$$P = \frac{F}{A}$$

$$P = \frac{29,4 \text{ N}}{1,96 * 10^{-3} \text{ m}^2}$$

$$P = 15000 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

➤ La presión será lo mismo en cada uno de los puntos en el que se encuentre

3.10.4.4. Fuerza de salida del fluido

$$F = \frac{A_{\text{pistón}}}{A_{\text{cañería}}} * F_{\text{palanca}}$$

➤ Se calcula el área de la sección circular de la cañería
Conversión

$$\phi_1 = 5 \text{ cm} * \frac{1\text{m}}{1000\text{mm}}$$

$$\phi_1 = 0,005\text{cm}$$

Área

$$A_{\text{cañería}} = \pi * \theta_2^{\frac{2}{4}}$$

$$A_{\text{cañería}} = \pi * (0,005)^{\frac{2}{4}}$$

$$A_{\text{cañería}} = 1,96 * 10^{-5} \text{m}^2$$

Fuerza

$$F = \frac{A_{\text{pistón}}}{A_{\text{cañería}}} * F_{\text{palanca}}$$

$$F = \frac{1,96 * 10^{-3} \text{m}^2}{1,96 * 10^{-5} \text{m}^2} * 29,4 \text{ N}$$

$$F = 2940 \text{ N}$$

3.10.4.5. Volumen

➤ En este caso como el gato hidráulico tiene una forma cilíndrica se aplica la fórmula del volumen cilíndrico

$$v = \pi * r^2 * h$$

$$v = \pi * (0,025)^2 * (0,3)$$

$$v = 1,96 * 10^{-4} \text{m}^3$$

3.10.4.6. Masa del diésel

$$\delta = \frac{m_{diesel}}{v_{recipiente}}$$

Se despeja m

$$\delta = \frac{m_{diesel}}{v_{recipiente}}$$

$$m_{diesel} = \delta * v$$

$$m_{diesel} = 832 \frac{kg}{m^3} * 1,96 * 10^{-4} m^3$$

$$m_{diesel} = 0,1631kg$$

3.11. Construcción del comprobador de inyectores mecánicos

Para la del comprobador de inyectores mecánicos permitirá realizar diferentes pruebas más realistas en los inyectores. Aquí tienes los pasos generales para construirlo:

3.11.1. Gata hidráulica de 4 toneladas

“La gata” es una herramienta empleada por elevación de cargas. Esta, puede ser empleada de forma mecánica o hidráulica con el fin de proporcionar una elevación de pesos pequeños y/o grandes tales como automóviles. Dicha herramienta está conformada por dos recipientes cilíndricos que unen la base inferior. (Firestone, 2022)



Ilustración 3- 16: Gata Hidráulica

Realizado por: Quimbita Evelyn, 2023.

Tabla 3- 2: Especificaciones del Gato Hidráulico

Capacidad	4T
Carga para descenso	25kg
Altura máxima	38,5cm
Altura mínima	19,5cm
Peso	3,58kg

Fuente: (Firestone, 2022)

Realizado por: Quimbita Evelyn, 2023.

Antes de explicar el funcionamiento del gato hidráulico, es importante reconocer las partes que lo componen.

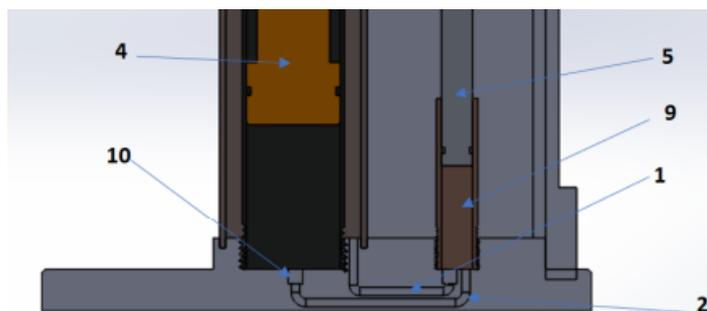


Ilustración 3- 17: Partes de un gato hidráulico

Fuente: (Afkir, 2018)

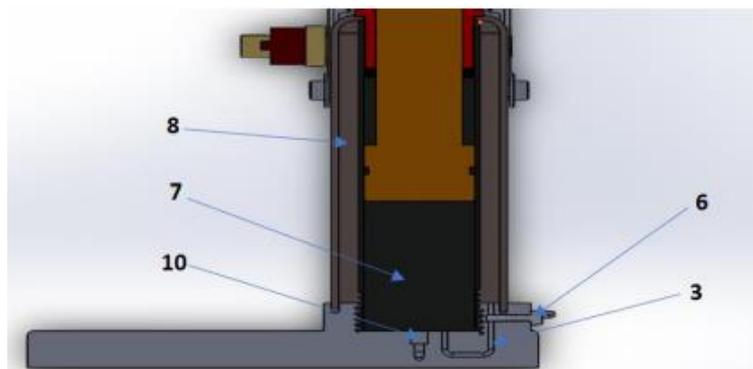


Ilustración 3- 18: Partes de un gato hidráulico

Fuente: (Afkir, 2018)

Tabla 3- 3: Partes del Gato Hidráulico

1	Circuito que une la cámara secundaria con el depósito	6	Válvula de vaciado
2	Conducto que une la cámara secundaria con la cámara principal	7	Cámara principal
3	Conducto que comunica el depósito con la cámara principal	8	Depósito
4	El pistón principal	9	Cámara secundaria
5	El pistón secundario	10	Válvulas anti retorno

Fuente: (Afkir, 2018)

Realizado por: Quimbita Evelyn, 2023.

Su funcionamiento se puede dividir en dos etapas:

- *Etapa de aspiración:* el pistón secundario realiza un movimiento ascendente, succionando el líquido a través del conducto '1' que comunica el depósito con la cámara secundaria. Esta succión se realiza gracias a una válvula anti retorno, y que solo se abre cuando el pistón se encuentra ascendiendo. Una similar válvula anti retorno hace la función de cerrar el conducto '2' para impedir que se libere líquido acumulado en la cámara principal.

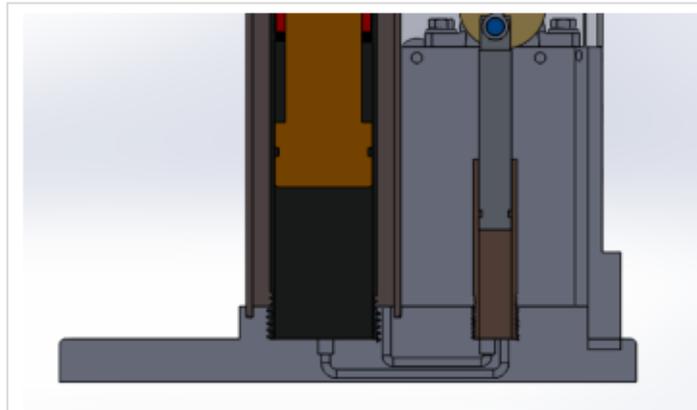


Ilustración 3- 19: Etapa de aspiración

Fuente: (Afkir, 2018)

- *Etapa de impulsión:* el pistón empieza a descender, cerrando de esta manera la válvula anti retorno del conducto '1'. El líquido acumulado en la cámara secundaria durante la primera etapa es empujado a través del conducto '2' hacia la cámara principal, haciendo que se abra la válvula anti retorno de este conducto.

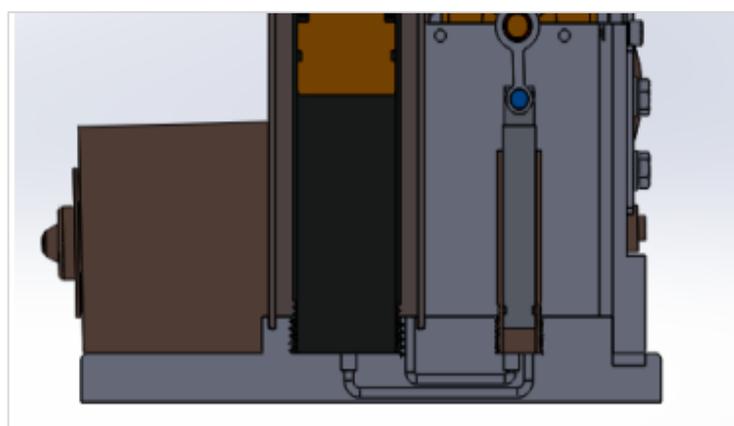


Ilustración 3- 20: Etapa de impulsión

Fuente: (Afkir, 2018)

Al repetir las dos etapas varias veces, se consigue trasladar el líquido desde el depósito hacia la cámara principal, pasando por la cámara secundaria, de esta forma, se consigue acumular el

líquido en la cámara principal lo que hace que el pistón de la misma suba y así se puede enviar el diésel hacia los inyectores.

3.11.2. Cañerías y conexiones

Las mangueras de alta presión son mangueras fabricadas de polímero, reforzadas con espirales de acero, pueden soportar presiones extremadamente elevadas, su baja expansión volumétrica les brinda tiempos de respuesta que son realmente rápidos y su orificio interior es rectificado por lo cual es mínima la caída de la presión. Las mangueras para alta presión cuentan con un diámetro exterior bastante reducido, por lo que se pueden usar en espacios pequeños, su diámetro interior va de los 3 a los 25 mm, mientras que sus compresiones van de los 345 a los 3200 bar. (REFACCIONES INDUSTRIALES , 2022)



Ilustración 3- 21: Cañería

Fuente: (BOSCH, 2002)

Cuando las cañerías son instaladas en el sistema de inyección deben poseer ciertas características técnicas de gran importancia que son:

Tabla 3- 4: Características de las cañerías

<i>Tipo de acero</i>	Trefilado
<i>Ondas de presión de una milésima de segundo</i>	300 kg/cm^2
<i>Presiones en kg/cm^2</i>	40 kg/cm^2 hasta 600 kg/cm^2
<i>Presiones en lb/plg^2 o PSI</i>	500 lb/plg^2 hasta 9000 lb/plg^2

Fuente: (Afkir, 2018)

Realizado por: Quimbita, E., 2023

Tabla 3- 5: Dimensiones de la cañería

LONGITUD			DIÁMETRO			ESPESOR	
Cañería 1	Cañería 2	Cañería 3	Cañería A Interno	Cañería B Interno	Cañería A y B Externo	Cañería A	Cañería B
15cm	8cm	5cm	2 mm	1,5 mm	6 mm	2 mm	2,25 mm

Fuente: (Afkir, 2018)

Realizado por: Quimbita, E., 2023

Nota: Si el diámetro exterior de ambas cañerías es de 6 mm, el espesor de las paredes de la cañería debe ser diferente.

Las conexiones o uniones herméticas que permiten conectar o acoplar una línea de fluido hidráulico hacia otro componente hidráulico.



Ilustración 3- 22: Terminal de rosca

Fuente: (Isaac, 2015)

Para una buena conexión hidráulica se tendrá en cuenta dos elementos básicos existentes:

- **SELLO:** Es la acción de junta que se realiza entre terminales para evitar las fugas. Una característica de un Sistema Hidráulico de Poder, es que debe estar libre de fugas.
- **TERMINAL DE ROSCA:** Se caracteriza por que uno de los elementos roscados (macho y/o hembra), tiene que tener una geometría cónica. Se produce el sello cuando los filetes de las roscas se ajustan entre ellos.

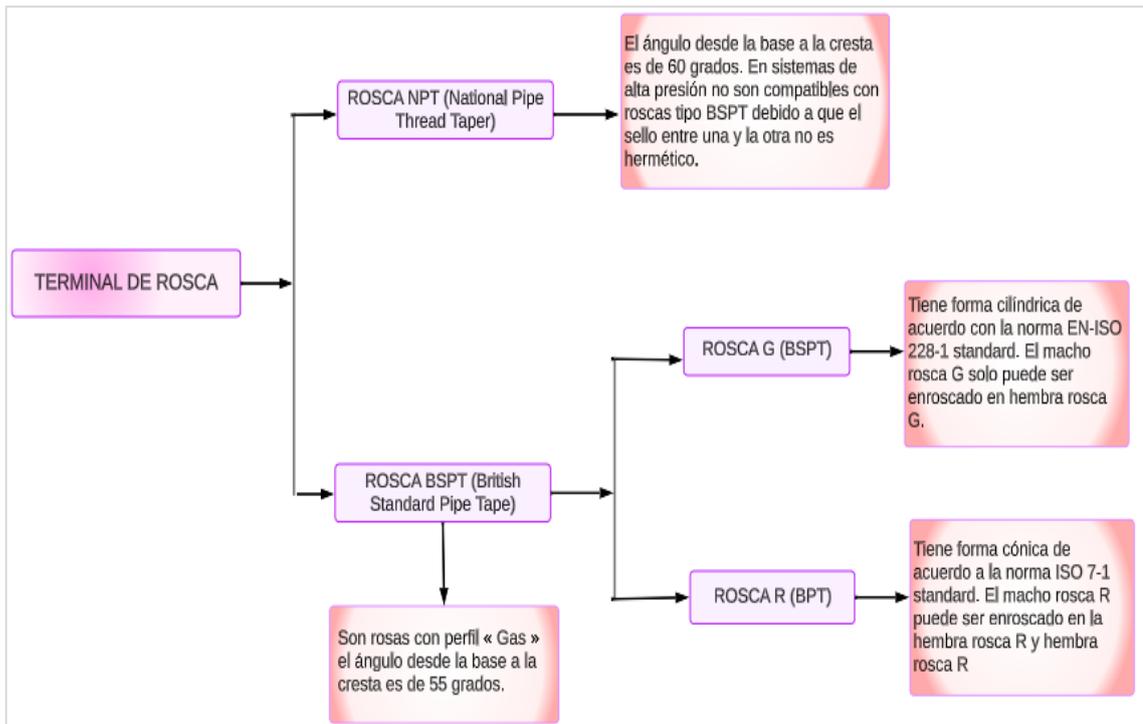


Ilustración 3- 23: Clasificación de uniones roscadas

Realizado por: Quimbita, E., 2023

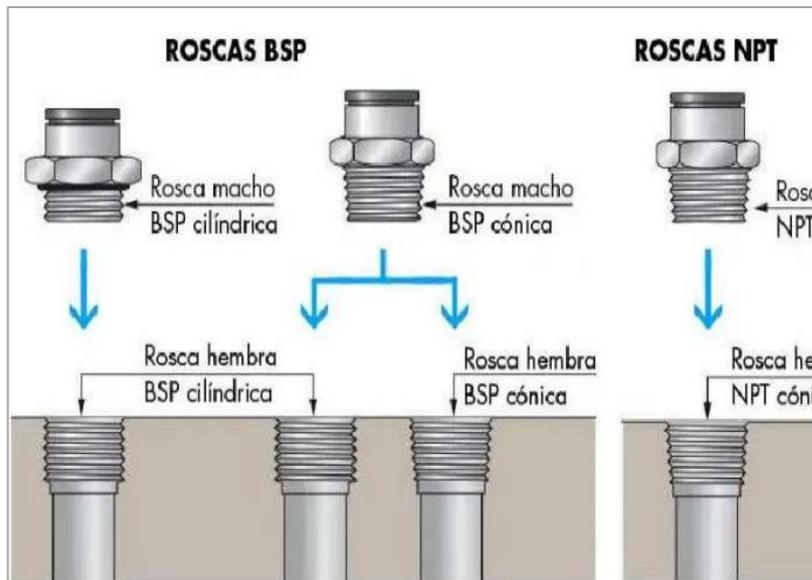
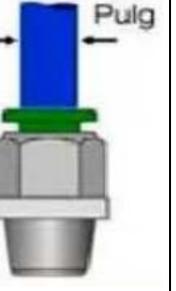


Ilustración 3- 24: Tipo de roscas

Fuente: (Afkir, 2018)

Tabla 3- 6: Tipos y Dimensiones de uniones roscadas

TIPOS DE ROSCAS		
NORMA	EUROPEA	
TIPO DE ROSCA	BSP	
	CILÍNDRICA	CÓNICA
		AMERICANA
		NPT

RACOR			
DENOMINACIÓN DE LA ROSCA	ROSCA "G"	ROSCA "R"	ROSCA "NPT"
MEDIDAS DISPONIBLES DE RACORES	$G \frac{1}{8}$	$R \frac{1}{8}$	NPT $\frac{1}{8}$
	$G \frac{1}{4}$	$R \frac{1}{4}$	NPT $\frac{1}{4}$
	$G \frac{3}{8}$	$R \frac{3}{8}$	NPT $\frac{3}{8}$
	$G \frac{1}{2}$	$R \frac{1}{R}$	NPT $\frac{1}{2}$
N° DE HILOS POR PULGADA DE ROSCA	$\frac{1}{8}$	28 mm	
	$\frac{1}{4}$	19 mm	
	$\frac{3}{8}$	19 mm	
	$\frac{1}{2}$	14 mm	

Fuente: (Afkir, 2018)

Realizado por: : Quimbita, E., 2023

3.11.3. Inyectores mecánicos

Los inyectores son electroválvulas capaces de abrirse y cerrarse millones de veces con una reacción muy precisa al pulso eléctrico que los acciona, sin fugas ni escapes de carburante. Son los encargados de suministrar el combustible al conducto de admisión o a la cámara de pre-combustión, según si se trata de un sistema de inyección directa o indirecta respectivamente, de forma pulverizada y sin goteos para que el combustible se distribuya de la forma más homogénea posible según el régimen de funcionamiento del motor. (Bohórquez, 2015)



Ilustración 3- 25: Inyector Mecánico

Realizado por: Quimbita, E. 2023

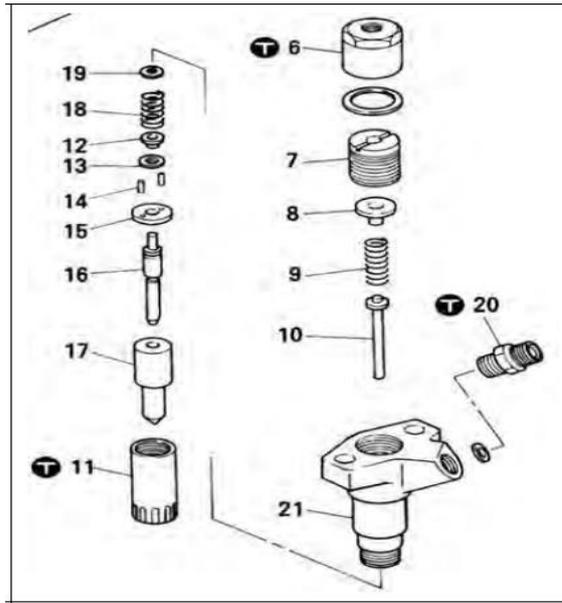


Ilustración 3- 26: Partes del Inyector

Fuente: (Vicedirección de Mecanización, UPPH , 2012)

Tabla 3- 7: Partes del Inyector

1	Racor (Perno de ojo)	13	Arandela
2	Tubería de retorno de combustible	14	Pasador recto
3	Tubería de inyección	15	Guía del atomizador
4	Perno	16	Válvula de aguja
5	Cuerpo inyector	17	Inyector
6	Capacete (Tuerca de sombrerete)	18	Resorte secundario
7	Tornillo de regulación	19	Arandela
8	Buje guía	20	Racor (Resorte de porta inyector)
9	Resorte primario	21	Porta inyector
10	Barra de empuje	22	Sello anti polvo
11	Tuerca del atomizador	23	Junta
12	Asiento de resorte		

Fuente: (Vicedirección de Mecanización, UPPH , 2012)

Realizado por: Quimbita, E., 2023

Tabla 3- 8: Presión de Inyección

	DONDE SE REVIS	VALOR NOMINAL
PRESIÓN DE INYECCIÓN	Presión de abertura de la válvula primaria	165 – 173 kg/cm^2
	Presión de abertura de la válvula secundaria	261 – 269 kg/cm^2
PRE-ELEVACIÓN		0.085 ± 0.018

Fuente: (Vicedirección de Mecanización, UPPH , 2012)

Realizado por: Quimbita, E., 2023

Tabla 3- 9: Torque de apriete

DONDE SE APRIETE	TORQUE DE APRIETE
Racor (Perno de ojo) (para el montaje del tubería de retorno de combustible)	1.5 – 2 N * m
Unidad del tubo de inyección	3 N * m
Perno (para el montaje del inyector bomba)	1.5 N * m
Tuerca de sombrerete	4 – 5 N * m
Tuerca de retención	6 – 8 N * m
Junta del porta inyector	6 – 7 N * m

Fuente: (Vicedirección de Mecanización, UPPH , 2012)

Realizado por: Quimbita, E., 2023

3.11.4. Manómetro

Un manómetro de presión es un indicador analógico utilizado para medir la presión de un gas o líquido, como agua, aceite o aire. A diferencia de los transductores de presión tradicionales, estos son dispositivos analógicos con un dial circular y un puntero accionado mecánicamente que han estado en uso durante décadas. (Mauriar, 2015)



Ilustración 3- 27: Manómetro

Realizado por: Quimbita, E. 2023

3.11.5. Depósito de combustible

Es aquel que almacena el combustible necesario para realizar las pruebas de los inyectores. El tanque puede tener una capacidad variable y estar equipado con sistemas de filtrado y control de nivel.

3.12. Ensamble del comprobador de inyectores mecánicos

En la preparación del gato hidráulico se debe asegurar que la gata hidráulica esté en buen estado, sin ningún tipo de fugas de aceite u otros problemas. Al momento de tener todo verificado se procede a desarmar el gato hidráulico, se retira el aceite que viene por defecto en la gata y se lava bien. Para realizar la conexión hidráulica principal se utilizó un tubo de hierro de 30 cm, del cual se le realizó un proceso de torneado con el fin de reducir su grosor para que encaje de manera perfecta en el gato.



Ilustración 3- 28: Mecanizado del tubo

Realizado por: Quimbita, E. 2023

Para realiza el orificio principal por el cual circulará el diésel, esto se lo realizo con una fresadora, el tubo también poseerá 3 orificios más uno para la cañería, otro para el manómetro y finalmente el ultimo para una válvula que controla el flujo del diésel. Para el roscado de los orificios se utilizó un machuelo de un cuarto cónico.



Ilustración 3- 29: Perforación del tubo

Realizado por: Quimbita, E. 2023

Dado que en al ejercer una fuerza en el gato hidráulico por defecto el tubo empezará a subir por la presión que se ejerce en su interior, para evitar esta acción se realizó una simbra, la cual permitirá que el tubo se quede fijo y se pueda realizar e manera correcta las pruebas.



Ilustración 3- 30: Simbra de soporte

Realizado por: Quimbita, E. 2023

Se realizó un soporte base para los inyectores, el cual permitirá tener una mejor estabilidad al momento de realizar las pruebas ya que los inyectores se encontrarán fijos.

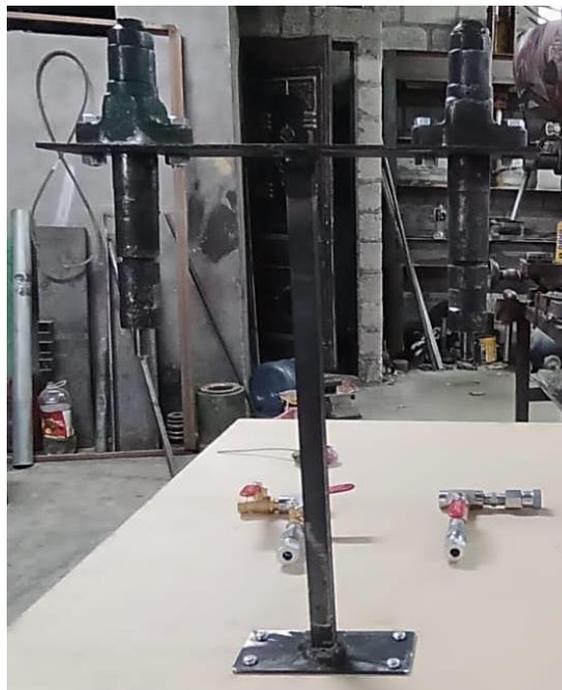


Ilustración 3- 31: Soporte base de los inyectores

Realizado por: Quimbita, E. 2023

Se realizó esquema de la línea de fluido conexión de las cañerías hacia los inyectores, se utilizó 4 cañerías según las medidas deseadas, 8 uniones herméticas que permiten conectar o acoplar una línea de fluido en este caso se utilizó acoples de terminal de rosca, en este caso se realizó 3 líneas de fluido en las cuales se les ubico una llave de para cada.



Ilustración 3- 32: Esquema de la línea de fluido

Realizado por: Quimbita, E. 2023

Conecta las cañerías y conexiones hidráulicas a la gata, de manera que puedas controlar el flujo de líquido hacia los inyectores. En el extremo de los tubos, coloca los inyectores mecánicos. Utiliza las válvulas o grifos para regular el flujo de líquido hacia los "inyectores". Integra un manómetro en la línea para medir la presión generada por los inyectores durante las pruebas. Observa el manómetro para verificar la presión generada y asegurarte de que esté dentro de los rangos esperados. Si es necesario, ajusta la presión o el flujo de líquido para simular diferentes condiciones de funcionamiento de los inyectores.



Ilustración 3- 33: Comprobador de Inyectores

Realizado por: Quimbita, E. 2023

3.12.1. Implementación del comprobador

Para implementación del comprobador y antes de realizar las pruebas requeridas primero se debe preparar el banco de pruebas, se inicia colocando en combustibles lo suficiente para lograr generar una presión en este caso se utilizó diésel, se debe asegurar que no exista fugas de combustible. Se debe observar el manómetro se encuentre conectado correctamente, debe estar calibrado y su lectura debe ser visible durante la prueba. Se debe conectar el inyector a la cañería se debe asegurar que el inyector se encuentre estable y con un ajuste correcto para así evitar fugas en el momento de la comprobación.

Se debe verificar que el contenedor en el cual se recogerá el combustible al momento de realizar las pruebas se encuentre limpio. Al momento de realizar la comprobación de los inyectores se debe regular el flujo del combustible. Esta válvula permitirá ajustar el flujo de combustible hacia los inyectores y controlar la presión de inyección. Se colocó el comprobado de inyectores en el soporte base para esto se realizó cuatro perforaciones en la cubierta del soporte base para fijarlo con cuatro pernos y cuatro tuercas asegurando que el comprobado se quede estable. Finalmente se podrá realizar las pruebas requeridas como de goteo, tiempo de descarga, forma de inyección y las de presión de apertura.

3.13. Pruebas de funcionamiento

3.13.1. Preparación del equipo comprobador de inyectores

Antes de empezar a realizar las pruebas en los inyectores primero se debe prepara al comprobador, se debe realizar una inspección visual al comprobador y verificar que cada uno de sus componentes esta instalados de una manera adecuada, el operario debe tomar en cuenta cada una de las normas de seguridad que proporcionara el taller de maquinaria pesada y el manual de usuario. Asegúrese que en el comprobador de inyectores el tanque de combustible se encuentre limpio y en buen estado, que se encuentre con diésel suficiente para poder realizar las diferentes pruebas. Se verifica que la conexión del inyector a la cañería se encuentre bien conectado para evitar que existan algún tipo de fugas del combustible.

3.13.2. Activación del comprobador

- Precargar el comprobador de inyectores mecánicos casero y asegúrate de que todos los medidores y lecturas estén funcionando correctamente.
- Cargar el comprobador para que aplique la presión y el pulso al inyector.

- Observa el patrón de la prueba realizada en el inyector y verifica si es uniforme, si hay obstrucciones o si hay alguna fuga de combustible.

3.14. Pruebas realizadas en el Inyector Mecánico

Se realizó cuatro pruebas diferentes al inyector como son las pruebas de goteo, tiempo de descarga, forma de inyección y las de presión de apertura.

3.14.1. Grados de pulverización

Para el cálculo de los grados de pulverización en los inyectores mecánicos se debe tener en cuenta el siguiente procedimiento.

- Se debe considerar el radio interno del cilindro de pulverización, esto se lo puede obtener en las especificaciones del fabricante del inyector.

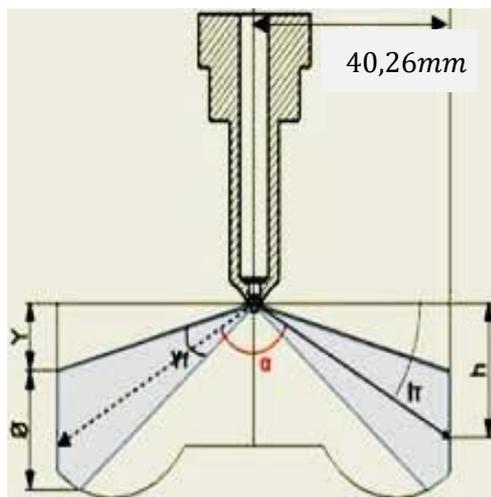


Ilustración 3- 34: Radio interno del cilindro de pulverización

Fuente: (Bustillos & Simbaña, 2018)

- Para obtener la medida de los orificios del inyector se lo mide desde la punta del inyector hasta sus orificios esto se lo realiza con la ayuda de un pie de rey.



Ilustración 3- 35: Medida de los orificios del Inyector

Realizado por: Quimbita, E. 2023

- Obtenemos las medidas de referencia del inyector, desde la punta del inyector hasta una pestaña del inyector, esto se lo tomara como referencia para cálculos posteriores.



Ilustración 3- 36: Medidas de referencia del Inyector

Realizado por: Quimbita, E. 2023

- Mediante el funcionamiento del banco de comprobación se tomará la medida del diámetro del chorro de pulverización.



Ilustración 3- 37: Diámetro del chorro de pulverización

Realizado por: Quimbita, E. 2023

- Para obtener el punto máximo y mínimo del chorro de pulverización, esto se lo podrá realizar colocando papel milimetrado a la altura de la punta del inyector y realizando una marca en el mínimo y el máximo.



Ilustración 3- 38: Punto máximo y mínimo del chorro de pulverización

Realizado por: Quimbita, E. 2023

- Se tomará la medida desde la altura del papel hacia el punto máximo del chorro, una vez obtenido cada una de las mediadas se calculará los parámetros deseados.



Ilustración 3- 39: Obtención de medidas

Realizado por: Quimbita, E. 2023

3.14.2. Geometría de pulverización

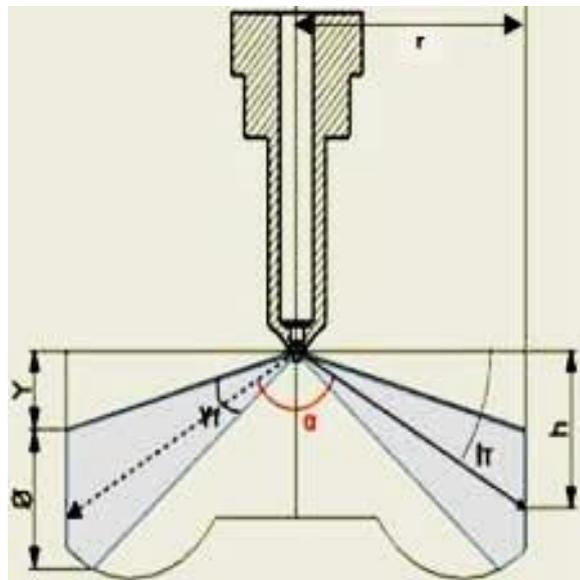


Ilustración 3- 40: Geometría de pulverización

Fuente: (Bustillos & Simbaña, 2018)

Datos

r = Radio del cilindro

h = Altura

\varnothing = Diámetro

$I_T = \text{Ángulo de disparo}$

$Y = \text{Diferencia de alturas}$

$Y_T = \text{Ángulo de dispersión}$

$\alpha = \text{Ángulo de cono}$

- Ecuación del ángulo de dispersión

$$Y_T = \tan^{-1}\left(\frac{\phi_{\text{chorro}} + Y}{r}\right) - \tan^{-1}\left(\frac{Y}{r}\right)$$

- Ecuación del ángulo de disparo

$$I_T = \tan^{-1}\left(\frac{h}{r}\right)$$

- Ecuación de ángulo de cono

$$\alpha = 2 \tan^{-1}\left(\frac{r}{h}\right)$$

3.14.3. Cálculos

$$r = 40,26\text{mm}$$

$$h = ?$$

$$\phi_{\text{chorro}} = 6,1\text{mm}$$

$$r_{\text{chorro}} = 3,5\text{mm}$$

$$\text{Punta del inyector a los orificios} = 2\text{mm}$$

$$\text{punta del inyector haata la parte maxiña del chorro} = 2,5$$

3.14.3.1. Diferencia de alturas

$$Y = \text{punta del inyector hasta la parte maxima del chorro} \\ + \text{punta del inyector a los orificios}$$

$$Y = 2,5\text{mm} + 2\text{mm}$$

$$Y = 4,5\text{mm}$$

3.14.3.2. Altura

$$h = Y + r_{\text{chorro}}$$

$$h = 4,5\text{mm} + 3,5\text{mm}$$

$$h = 8\text{mm}$$

3.14.3.3. *Ángulo de dispersión*

$$Y_T = \tan^{-1} \left(\frac{\phi_{\text{chorro}} + Y}{r} \right) - \tan^{-1} \left(\frac{Y}{r} \right)$$

$$Y_T = \tan^{-1} \left(\frac{6,1\text{mm} + 4,5\text{mm}}{40,26} \right) - \tan^{-1} \left(\frac{4,5\text{mm}}{40,26} \right)$$

$$Y_T = \tan^{-1}(0,26328) - \tan^{-1}(0,11177)$$

$$Y_T = 8,346^\circ$$

3.14.3.4. *Ángulo de disparo*

$$I_T = \tan^{-1} \left(\frac{h}{r} \right)$$

$$I_T = \tan^{-1} \left(\frac{8\text{mm}}{40,26\text{mm}} \right)$$

$$I_T = \tan^{-1}(0,19870\text{mm})$$

$$I_T = 11,238^\circ$$

3.14.3.5. *Ángulo de cono*

$$\alpha = 2 \tan^{-1} \left(\frac{r}{h} \right)$$

$$\alpha = 2 \tan^{-1} \left(\frac{40,26\text{mm}}{8\text{mm}} \right)$$

$$\alpha = 2 \tan^{-1}(5,0325\text{mm})$$

$$\alpha = 157,522^\circ$$

3.14.3.6. *Prueba de goteo*

Este tipo de prueba se realiza para evaluar la estanqueidad y el funcionamiento adecuado de los inyectores. Antes de conectar el inyector a la cañería se debe verificar que el inyector se encuentre limpio y sin ningún tipo de obstrucción, en caso de tener alguna obstrucción que impida realizar la comprobación de manera adecuada se debe realizar una limpieza del inyector. Para esta prueba se someterá al inyector a una presión variable desde el control manual, iniciando desde 40 *bar*/600*psi* durante unos 2 *minutos* aproximadamente, eso puede variar

dependiendo de las especificaciones del fabricante. Teniendo como objetivo el observar el taponamiento del inyector, por lo tanto, el inyector no deberá gotear para poder pasar la prueba, es decir que si el inyector llega a gotear se puede decir que no está haciendo un debido taponamiento. (Montes, et al., 2019)

Para la prueba de goteo se lo realizo en 2 inyectores los cuales se les clasifico en dos categorías

- **Aprobado:** el cual dice que el inyector se encuentra en buen estado
- **Averiado:** el cual puede decir que el inyector posee un goteo por lo tanto esta en ml estando y se debe remplazar el inyector.

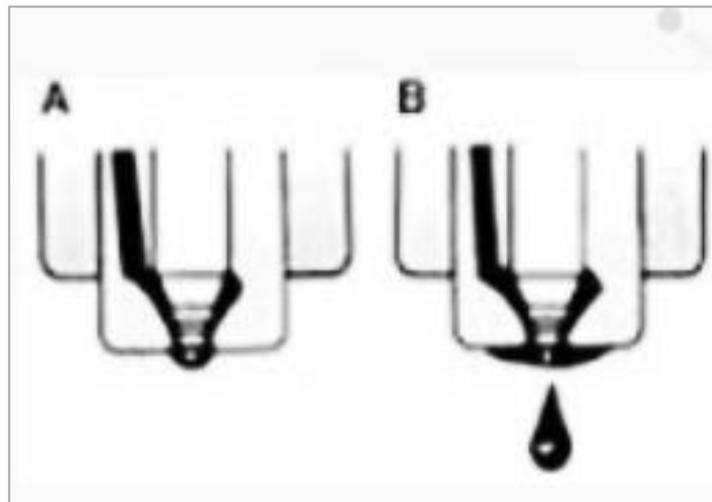


Ilustración 3- 41: Prueba de goteo

Fuente: (Bohórquez, 2015)

3.14.3.7. Forma de chorro

Esta prueba permitirá determinar si el inyector está sucio o dañado, si al realizar esta prueba da un chorro no uniforme con un aspecto estriado o fragmentado indicará que el inyector está sucio o que presenta algún tipo de daño. La forma de chorro aceptable para que un inyector se encuentre en buen estado debe ser de una forma regular, en forma de abanico, centrado con respecto al eje del inyector, sin interrupciones ni estrías y sin goteo. Cuando la forma de chorro no es aceptable es decir que el inyector se encuentra defectuoso, cuando el chorro sale del inyector de una forma oblicuamente, formando estrías o con interrupciones, esto puede indicar que está sucio o dañado. Cualquier falta de simetría en la forma de chorro de un inyector puede sospechar de un malfuncionamiento. (Pereya, 2016, pp. 5-6)

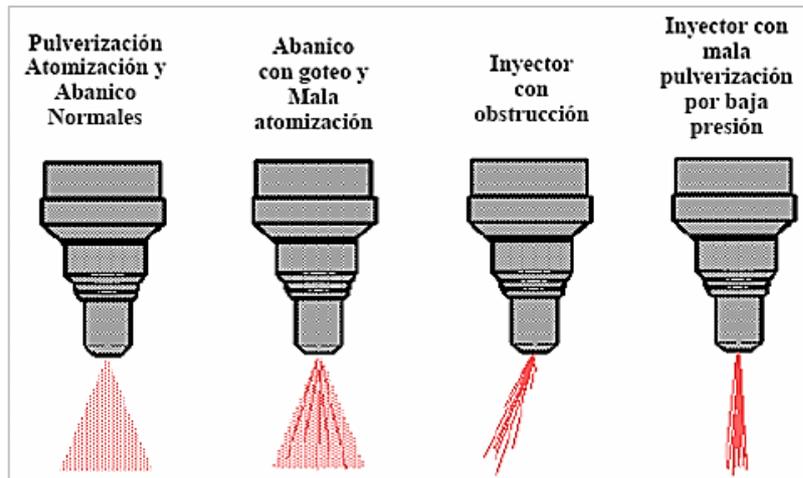


Ilustración 3- 42: Forma de chorro

Fuente: (BOSCH, 2002)

3.14.3.8. *Presión de apertura*

Cuando el inyector alcanza una presión determinada deberá abrirse de repente, sin ningún tipo de goteo previo. La presión que posee cada uno de los inyectores figura específicamente en los datos técnicos de cada motor. Para verificar el inyector se debe realizar un bombeado con la palanca del comprobador de inyectores a razón de una embolada por un segundo aproximadamente, se observa que la lectura de presión del manómetro al comenzó del suministro, de una manera instantánea la aguja del instrumento oscila ligeramente. Si la presión de apertura llega a ser superior a la rescrita, puede ser que la espiga de presión se encuentra pegado, también se puede dar por una obstrucción parcial de uno o varios orificios de la tobera o una precarga incorrecta de del muelle de presión. Para corregir este tipo de errores se debe calibrar el inyector esto se puede realizar en la precarga del muelle, con un suplemento de relaje de precarga encima del muelle. Es normal tener que realizar un reajuste de la presión de los inyectores a los 70000 *km* . (Pereya, 2016, p. 6)

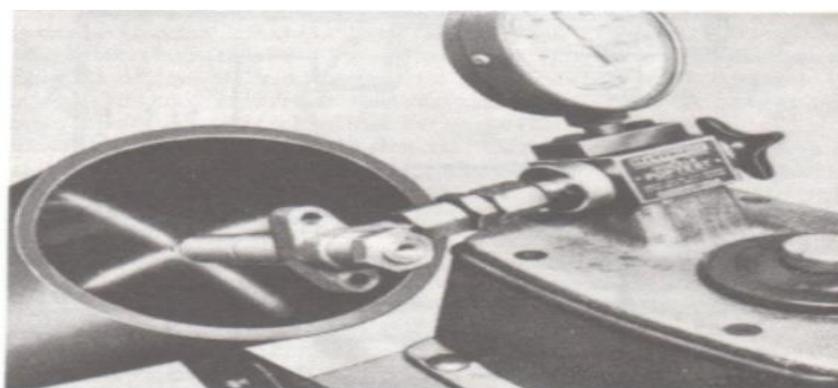


Ilustración 3- 43: Presión de apertura

Fuente: (Bohórquez, 2015)

3.15. Manual de operación y mantenimiento

3.15.1. Introducción

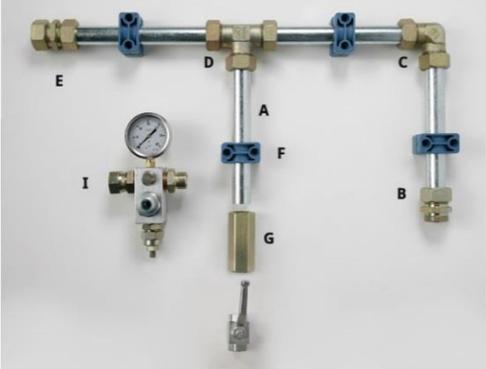
Este comprobador de inyectores mecánicos permitirá que usted como usuario tenga toda la facilidad y seguridad en el momento de realizar las pruebas de inyectores mecánicos como: goteo, tiempo de descarga, forma de inyección y las de presión de apertura, entre otros.

3.15.2. Seguridad

Al momento de utilizar este comprobador de inyectores mecánicos, se debe seguir algunas pautas de seguridad para así proteger al equipo como al operario. Dado que los inyectores suelen ser componentes delicados y manipularlos de una manera indebida podrían dañarlos o generar algún tipo de riesgo. Para evitar este tipo de situaciones se debe seguir las siguientes pautas:

Tabla 3- 10: Seguridad Personal

<i>Seguir las instrucciones</i>	
	Se debe leer cuidadosamente las instrucciones del fabricante antes de usarlo. Así tendrá información más detallada sobre su uso seguro y correcto.
<i>Uso de gafas y guantes</i>	
	Antes de empezar cualquier tipo de comprobación se debe proteger sus ojos de posibles salpicaduras o fugas de combustible. Se recomienda también el uso de guantes para así evitar el contacto directo con el combustible.

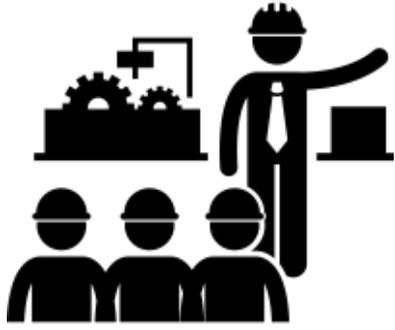
Trabajar en un área ventilada:	
	<p>Al realizar cada una de las pruebas se debe realizar en un área con suficiente ventilación y así evitar la acumulación de gases nocivos o vapores inflamables</p>
No fumar ni usar dispositivos electrónicos:	
	<p>Dado que el combustible es altamente inflamable, por lo cual no se debe fumar ni usar dispositivos electrónicos cerca de él mientras se realice las pruebas, podría ocasionar algún tipo de accidente.</p>
Manipulación cuidadosa:	
	<p>Dado que se trabajara con inyectores se debe tener cuidado, evitando golpes, caídas o cualquier otra acción que pueda dañar a los inyectores y al comprobador.</p>
Desconectar el equipo	
	<p>Una vez terminado la comprobación, se debe desconectar el inyector, la cañería y limpiarla, se debe limpiar el área de trabajo y finalmente poder guardar cada uno de los componentes en un lugar en el cual no exista humedad para evitar que se llegue a oxidar el comprobador y así alargar la vida útil del comprobados.</p>

Fuente: (Vicedirección de Mecanización, UPPH , 2012)
Realizado por: Quimbíta, E., 2023

3.15.3. Preparación antes de la prueba

Antes de realizar cada una de las pruebas requeridas, es muy importante tener el equipo y los materiales adecuados para así poder llevar las comprobaciones de una forma segura y efectiva. Para lo cual se debe seguir la siguiente guía:

Tabla 3- 11: Preparación del Comprobador

Conocimiento del equipo:	
	El operario debe estar capacitado y entender el funcionamiento y como interpretar los resultados que se lleguen a obtener.
Prueba de seguridad:	
	Antes de usar el comprobador en un objeto o equipo importante, es recomendable realizar una prueba en un elemento para verificar que el comprobador está funcionando correctamente.
Registro de resultados:	
	Prepare algún tipo de documento en el cual pueda registrar cada uno de los resultados obtenidos durante las pruebas, junto con cualquier información relevante.

Fuente: (Vicedirección de Mecanización, UPPH , 2012)

Realizado por: Quimbita, E., 2023

3.15.4. Procedimiento de prueba

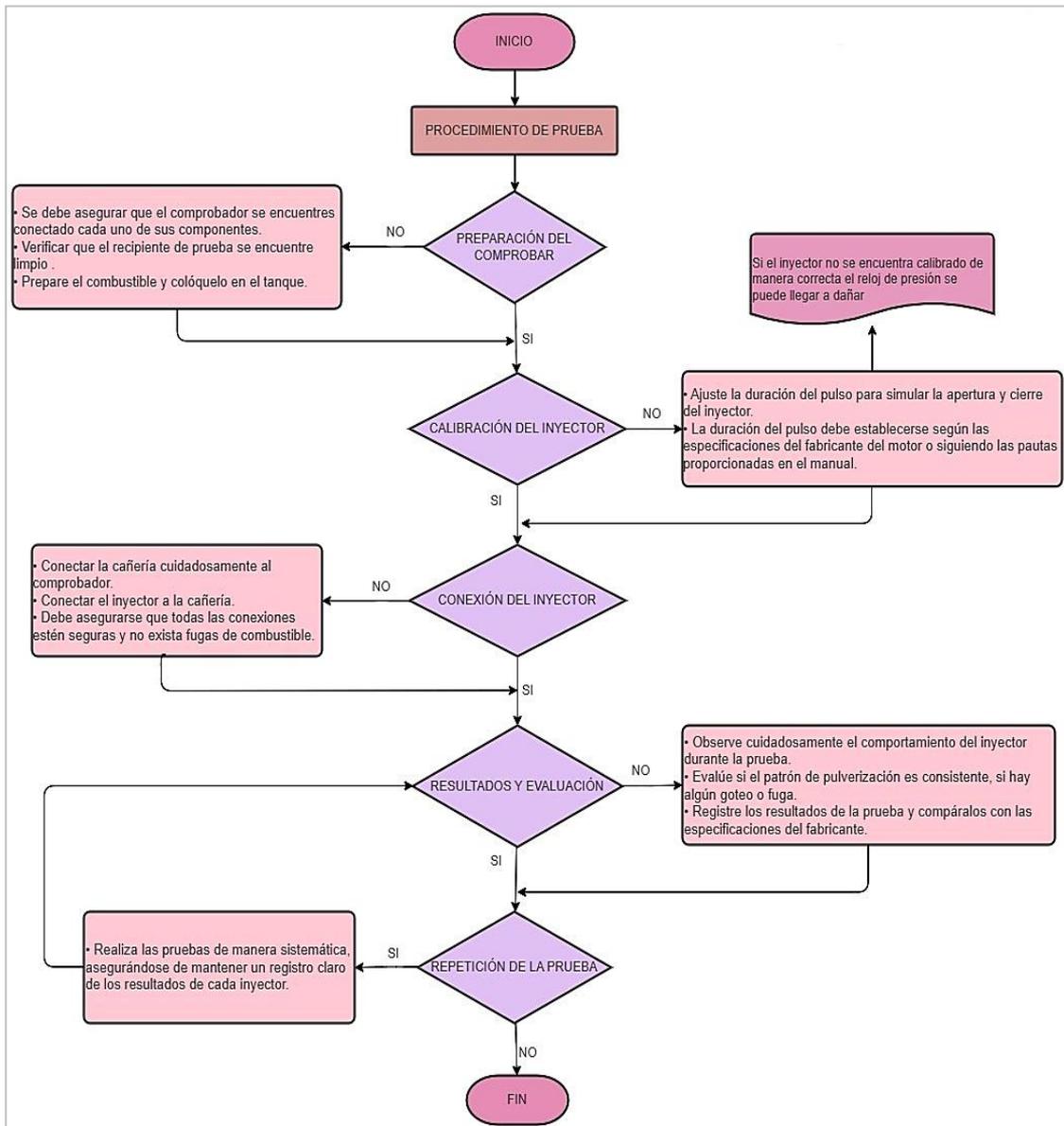


Ilustración 3- 44: Diagrama proceso de prueba

Realizado por: Quimbita, E. 2023

3.15.5. Mantenimiento y cuidado

El mantenimiento y cuidado del comprobador es muy importante y esencial para asegurar el buen funcionamiento y la precisión a la hora de realizarlas pruebas y mediciones. Para esta se debe se sugiere las siguientes pautas:

Tabla 3- 12: Mantenimiento y Cuidado del Comprobador

<p>Limpeza regular:</p>	
	<p>Se debe limpiar el comprobador después de cada uso para poder evitar la acumulación de residuos de combustible, para realizar esta limpieza se lo debe hacer con un paño limpio y que no contenga pelusas para limpiar las superficie externa, se debe asegurar que no que no exista liquido o suciedad en las cañerías.</p>
<p>Protección del equipo:</p>	
	<p>El comprobador de inyectores se debe mantener un lugar limpio y seco, protegido de la humedad y del polvo, cuando no lo estén utilizando la cañería debe mantenerse guardada.</p>
<p>Verificación de las conexiones:</p>	
	<p>Antes de cada uso se debe inspeccionar las conexiones y la cañería en busca de algún tipo de desgaste. Se debe asegurar que las conexiones estén en muy buen estado y bien ajustadas antes de conectar el inyector.</p>
<p>Evitar golpes y caídas:</p>	
	<p>Se debe trata el comprobador de inyectores con cuidado y evita golpes o caídas que puedan dañar sus componentes internos o externos.</p>

Fuente: (Vicedirección de Mecanización, UPPH , 2012)

Realizado por: Quimbita, E., 2023

3.15.6. Notas de seguridad adicionales

- Si tiene poca experiencia en el manejo de inyectores mecánicos o no se siente seguro al respecto, es mejor que busque a ayuda de un mecánico profesional para realizar las pruebas. La manipulación incorrecta de inyectores podría causar daños costosos o lesiones, por lo que siempre es mejor proceder con cautela y conocimiento adecuado.
- Este tipo de pruebas son esenciales para garantizar la calidad del inyector y los parámetros del proceso de inyección si es necesario. Es importante contar con ingenieros y técnicos calificados para llevar a cabo estas pruebas y analizar los resultados.

CAPÍTULO IV

4. ANÁLISIS Y RESULTADOS

4.1. Obtención de resultados

4.1.1. Prueba de goteo

En la siguiente Tabla 4-1 se muestra la recolección de datos obtenidos al momento de realizar las pruebas de goteo en el inyector 1 e inyector 2. Para esta prueba se sometió al inyector a una presión variable con un control manual, iniciando desde 40 *bar*/600*psi* durante unos 2 *minutos* aproximadamente. El modo más fácil de detectar tales fugas es colocando una hoja absorbente debajo del inyector durante la prueba. Si el inyector gotea después de limpiar la tobera y la válvula de aguja deberá sustituirse por uno nuevo.

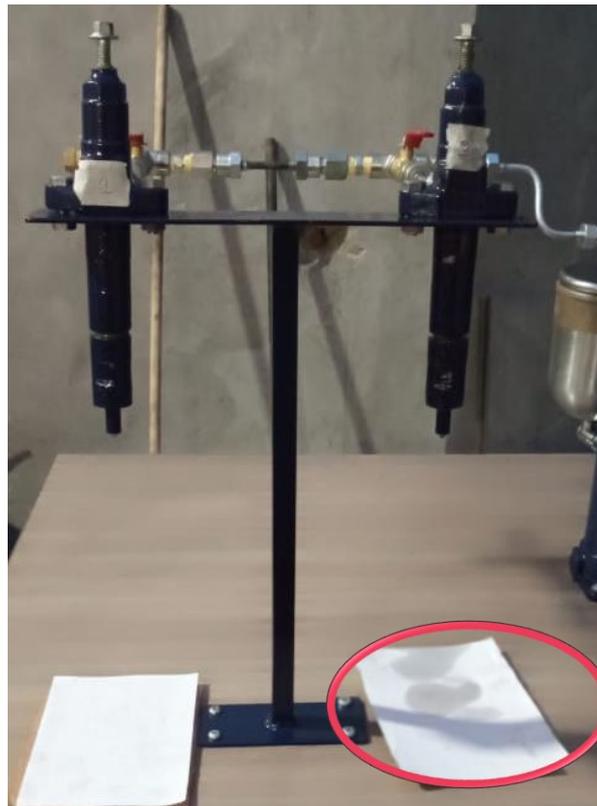


Ilustración 4- 1: Prueba de goteo

Realizado por: Quimbita, E. 2023

Para la prueba de goteo se lo realizo en 2 inyectores los cuales se les clasifico en dos categorías:

- **Aprobado:** el cual dice que el inyector se encuentra en buen estado

- **Defectuoso:** el cual puede decir que el inyector posee un goteo por lo tanto está en mal estado y se debe remplazar el inyector.

Tabla 4- 1: Recolección de datos dela prueba

	Tiempo	Presión	Goteo
Inyector 1	2 minutos	40 bar/600psi	Aprobado
Inyector 2	2 minutos	40 bar/ 600 psi	Defectuoso

Realizado por: Quimbita, E., 2023

4.1.2. Prueba de forma de chorro

En la siguiente Tabla 4-2 se muestra la recolección de datos dela prueba de forma de chorro realizada en el inyector 1 e inyector 2. El chorro proyectado por el inyector debe ser regular en forma de abanico centrado con respecto al eje del inyector sin interrupciones ni estrías y sin goteo.



Ilustración 4- 2: Prueba forma de chorro

Realizado por: Quimbita, E. 2023

Para la prueba de goteo se lo realizo en 2 inyectores los cuales se les clasifico en dos categorías:

- **Aprobado:** el cual dice que el inyector se encuentra en buen estado
- **Defectuoso:** el cual puede decir que el inyector posee una forma de chorro irregular por lo tanto está en mal estado y se debe remplazar el inyector.

Tabla 4- 2: Recolección de datos dela prueba

	Tiempo	Presión	Forma de chorro
Inyector 1	2 minutos	40 bar/600psi	Aprobado
Inyector 2	2 minutos	40 bar/600psi	Defectuoso

Realizado por: Quimbita, E., 2023

4.1.3. Prueba de apertura

En la siguiente Tabla 4-3 se muestra la recolección de datos dela prueba de apertura realizada en los dos inyectores. Para esto se procede a elevar la presión hasta que inyector llegue a inyectar el combustible a 230 bar., hasta generar la pulverización a la presión indicada.

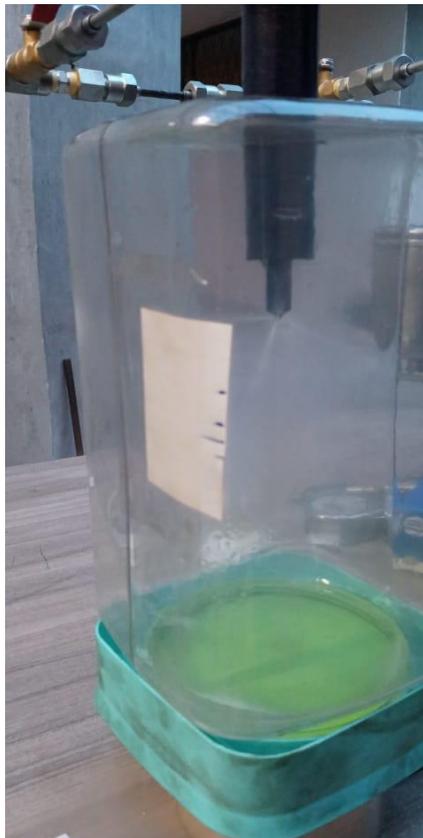


Ilustración 4- 3: Prueba de apertura

Realizado por: Quimbita, E. 2023

Para la prueba de goteo se lo realizo en 2 inyectores los cuales se les clasifico en dos categorías:

- **Aprobado:** el cual dice que el inyector se encuentra en buen estado
- **Defectuoso:** el cual puede decir que el inyector posee una apertura irregular por lo tanto está en mal estado y se debe remplazar el inyector.

Tabla 4- 3: Recolección de datos de la prueba

	Tiempo	Presión	Forma de chorro
Inyector 1	2 minutos	40 bar/600psi	Aprobado
Inyector 2	2 minutos	40 bar/600psi	Defectuoso

Realizado por: Quimbita, E., 2023

4.1.4. Factor de seguridad

El factor de seguridad es un parámetro utilizado en ingeniería para evaluar la capacidad de una estructura o componente para resistir las cargas aplicadas sin fallar. En el contexto del soporte base, el factor de seguridad se utiliza para determinar si el soporte base es lo suficientemente resistente para soportar las cargas previstas sin experimentar deformaciones excesivas o fracturas.

- Sigue los pasos mencionados anteriormente para preparar el modelo, aplicar las condiciones de carga y restricciones, y crear la malla.
- Después de resolver el análisis, ANSYS proporcionará los resultados, que incluirán los desplazamientos, deformaciones y esfuerzos en el soporte base.
- Identifica el punto o la región del soporte base donde se encuentran los esfuerzos máximos. Esto es crucial, ya que el factor de seguridad se basa en el esfuerzo crítico.
- El factor de seguridad (FS) se calcula dividiendo la resistencia del material por el esfuerzo máximo en el punto crítico.
- La resistencia del material se puede representar mediante el límite elástico o de fluencia del material
- Un factor de seguridad mayor a 1 indica en la estructura base es lo suficientemente fuerte para resistir las cargas sin fallar. Cuanto mayor sea el factor de seguridad, mayor será la capacidad de carga del soporte base con respecto a las cargas aplicadas.

4.2. Análisis y discusión

Una vez realizadas cada una de las pruebas se puede determinar que el funcionamiento del comprobador de inyectores mecánicos es el apropiado, dado que cada uno de sus componentes trabaja de la mejor manera. Una de sus características es su fácil traslado y manipulación de dicho comprobador. Dado que cada uno de los componentes que conforma el comprobador estos pueden llegar a desarmarse estos pueden ser reemplazados en caso de que llegaran a sufrir algún tipo de daño o desperfecto. El comprobador posee tres líneas de fluidos, en las dos líneas de fluido principales se pueden acoplar diferentes inyectores mecánicos, en la tercera línea de

fluido se la puede utilizar de dos maneras, la primera como desfogue de los residuos de diésel y la segunda para acoplar un tercer inyector en caso de ser requerido. Cada una de las cañerías posee una llave la cual permite e interrumpe el paso del diésel.



Ilustración 4- 4: Comprobador de Inyectores Mecánicas terminado

Realizado por: Quimbita, E. 2023

Para las pruebas realizadas entre el inyector 1 e inyector 2 llevadas a cabo permitió identificar los posibles daños que puede llegar a presentar los inyectes y si existe alguna diferencia en su rendimiento.

Durante las pruebas de goteo realizada, se observó que el cierre del vástago del inyector 1es correcta por lo cual no existe ningún tipo de fugas, por otra parte, el inyector 2 muestra un goteo excesivo lo que quiere decir que el vástago del inyector no cierra correctamente.

En la prueba de forma de chorro en el inyector 1 se observas que posee un chorro de forma regula es decir está correcto, en el inyector 2 la forma de chorro es irregular por lo tanto no

posee una apertura correcta por lo tanto se indicó un problema en el inyector lo puede requerir una limpieza, reparación o en algunos casos sustituirlos.

En la prueba de apertura en el inyector 1 e inyector 2 se observó que poseen una apertura de forma correcta, lo cual quiere decir que en el momento de abrirse los inyectores no presentan ningún tipo de goteo previo antes de expulsar el chorro de pulverización.

Se recomienda comparar los resultados de ambas pruebas de goteo, forma de chorro y apertura para identificar cualquier discrepancia y tomar las medidas necesarias para corregir cualquier problema encontrado.

El análisis realizado del factor de seguridad en el soporte base, su valor mínimo es de 1,04 y al ser mayor a 1 se puede afirmar que su estructura es segura y puede soportar cargas sin ningún problema. Un factor de seguridad mayor que 1 indica que el componente es capaz de soportar las cargas aplicadas sin fallar. Un factor menor a 1 indica que el componente podría fallar bajo las condiciones dadas.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Los bancos de comprobación el cual resalta su papel esencial en el diagnóstico, mantenimiento y reparación de inyectores en motores diésel.
- El uso de software CAE permitió crear un modelo altamente precisos y realistas de la estructura del soporte base, esto facilito la simulación detallada de las condiciones de prueba y su comportamiento, lo que conduce a resultados.
- La selección adecuada de materiales para la construcción del banco de pruebas son elementos esenciales para lograr un sistema funcional, duradero y eficiente, utilizando un tubo mecánico cuadro de *1,5plg por 2 mm de espesor* . Propiedades Físicas, Densidad 7,85 g/cm³, Punto de fusión 1425-1538 °C, Módulo de Elasticidad 200 Gpa, Relación de Poissons: 0,26.
- Al considerar cuidadosamente las propiedades y características de los materiales, así como aplicar principios de diseño y construcción, se establecen las bases para un banco de pruebas confiable y efectivo.
- La validación del banco de pruebas de los inyectores mecánicos permitió asegurar su capacidad para medir y evaluar de manera precisa y confiable los parámetros críticos de los inyectores.
- La elaboración de un manual de usuario y mantenimiento para el comprobador de inyectores mecánicos no solo garantiza un funcionamiento óptimo y seguro, sino que también demuestra el profesionalismo y compromiso con la calidad de dicho comprobador.

5.2. Recomendaciones

- Al momento de obtener la información requerida asegúrese de que sean de fuentes confiables y revisadas para garantizar la calidad de la información.
- Realizar una búsqueda exhaustiva y utilizar términos de búsqueda relevantes para obtener una amplia gama de referencias bibliográficas.
- Al momento de realizar el modelado en software se debe tener en cuenta qué aspectos se desea modelar y qué información se espera obtener del análisis.
- Seleccione el Software adecuad y versátil que se capaz de manejar.
- Elija los materiales con propiedades mecánicas adecuadas para las cargas y tensiones esperadas, considere la resistencia a la tracción, la dureza, la tenacidad y la resistencia a la fatiga.
- Si el banco estará expuesto a ambientes corrosivos, opte por materiales resistentes a la corrosión, como acero inoxidable o aleaciones específicas.
- La importancia de los inyectores mecánicos sobre los bancos de comprobación el cual resalta su papel esencial en el diagnóstico, mantenimiento y reparación de inyectores en motores diésel.
- La movilidad del comprobador debe ser de una manera cuidadosa.

BIBLIOGRAFÍA

ABBY. Sistema de Inyección Caterpillar HEUI. [En línea] 21 de Agosto de 2019. [Citado el: 2023 de Junio de 2023.]

<https://www.scribd.com/document/422668702/Sistema-de-inyeccion-Caterpillar-HEUI-docx>.

AFKIR, Hamid. Estudio y diseño de un gato hidráulico con accionamiento rotatorio. [En línea] 08 de Junio de 2018. [Citado el: 11 de Septiembre de 2023.]

https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/123327/TFG_Hamid_Afkir.pdf.

ALTAIR. CAE Directorios de software para analisis y simulacion en ingenieria CAE, FEA, CFD. [En línea] 3dcadportal, 2023. [Citado el: 01 de Junio de 2023.]

<https://www.3dcadportal.com/hyperworks.html>.

BERMEO, Mario, et, al. *Sistema de Alimentación Diesel*. Azogues : Universidad Técnica "José Peralta", 2011.

BOHÓRQUEZ, Alejandra. Inyectores diesel. [En línea] 04 de Noviembre de 2015. [Citado el: 28 de Junio de 2023.] <https://prezi.com/zswfnkj0ybt8/inyectores-diesel/>.

BOSCH. *Sistema de Inyección Diesel Por Acumulador Common Rail*. s.l. : BOSCH , 2005. 3-86522-083-5.

BUSTILLOS, Fabricio & SIMBAÑA, Davis. Investigación del comportamiento mecánico y electrico de los inyectores piezoeléctricos bosch del istema de inyeccion crdi(common rail diesel injection) de los vehículos volkswagen amarok 2.0 y lans rover freelande II 2.2. [En línea] 09 de Febrero de 2018. [Citado el: 18 de Jilio de 2023.]

<https://es.slideshare.net/albetoabarka/inyectores-236106325>.

CASA, Bryan. Motores diésel. [En línea] 27 de Diciembre de 2020. [Citado el: 27 de Mayo de 2023.] <https://www.scribd.com/document/489234939/Inyector-HEUI>. 489234939.

CASTILLEJO, Alejandro. *Sistemas de Inyección en Motores Diesel*. Sevilla : Universidad de Sevilla, 2014.

CASTRO, Miguel. *El motor diesel en el automovil*. Barcelona (España) : CEAC S.A, 1987. 84-329-1026-0.

CECAP. Tipos de Inyectores de Combustible Diesel. [En línea] 2023. [Citado el: 26 de Mayo de 2023.] <https://1library.co/document/y90e67ry-tipos-de-inyectores-de-combustible-diesel.html>.

CONSUEGRA, Salomón. *Módulo Motores Diesel*. Barranquilla : Instituto Tecnológico De Soledad Atlántico , 2007. 978-958-98336-5-0.

CORREA, Felipe. Banco para prueba de inyectores diesel TM 510. [En línea] 28 de Mayo de 2020. [Citado el: 27 de Mayo de 2023.] <https://www.lagrantiendadelmecanico.com/wp-content/uploads/2020/05/TM-510-BANCO-PARA-PRUEBA-DE-INYECTORES-DIESEL.pdf>.

FERRER, Álvaro. *Inyección Diésel: Todo lo que tienes que saber*. [En línea] Autonoción, 26 de Julio de 2021. [Citado el: 13 de Mayo de 2023.] <https://www.autonocion.com/inyeccion-diesel-motor/>.

FIRESTONE. Conocé todo acerca de la gata hidráulica y volvete un experto con tu auto. [En línea] 19 de Septiembre de 2022. [Citado el: 08 de Julio de 2023.] <https://www.firestone.co.cr/tips-firestone/cuidado-de-llantas/que-es-la-gata-hidraulica/#>.

FLORES, Jose. Motores Diesel. [En línea] josseluisisco, 31 de Enero de 2012. [Citado el: 20 de Mayo de 2023.] http://www.josseluisisco.blogspot.com/2012_01_31_archive.html.

FULL MECÁNICA. Como funcionan las bombas de inyeccion en linea con control eelectronico para la entrega de diesel y para el avance. [En línea] 2014. [Citado el: 26 de Mayo de 2023.] <http://www.fullmecanica.com/definiciones/b/1649-bombas-de-inyeccion-en-linea-con-control-electronico-para-la-entrega-y-el-tiempo.1649>.

G&G LAB DIESEL. Inyectores heui. [En línea] G&G Lab Diesel, 2022. [Citado el: 27 de Mayo de 2023.] <https://gyglabdiesel.com/inyectores-heui/>.

GAVILANEZ, Sandro. Bomba rotativa de inyección radial Fue desarrollada por Bosch especialmente para motores Diesel de funcionamiento rápido con inyección directa y una potencia. [En línea] 2020. [Citado el: 26 de Mayo de 2023.] <https://slideplayer.es/slide/15450208/>. 15450208.

GIL, Hermógenes. *Sistemas de inyección diesel*. Barcelona (España) : Ceac, 2002. 84-329-1571-8.

GUSMÁN, Álvaro, MENA, Luis & ROCHA, Juan. Diseño y construcción de un comprobador de inyectores de grupos electrógenos de motor serie 3500 caterpillar. [En línea] 23 de Febrero de 2014. [Citado el: 22 de Julio de 2023.] <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/7726/1/AC-ESPEL-MAI-0450.pdf>. 1390- 7395.

INGENIERIA Y MECANICA AUTOMOTRIZ. ¿Qué es un Inyector electromagnético del sistema Common Rail y cómo funciona? [En línea] Ingeniería Y Mecánica Automotriz, 17 de Marzo de 2020. [Citado el: 26 de Mayo de 2023.] <https://www.ingenieriaymecanicaautomotriz.com/que-es-un-inyector-electromagnetico-del-sistema-common-rail-y-como-funciona/>.

ISAAC. *Bombas de Alta Presión.* [En línea] ActualidadMotor, 2015. [Citado el: 13 de Mayo de 2023.] <https://www.actualidadmotor.com/bomba-alta-presion-que-es/>.

M.BUSTILLOS, Jose. *Inyectores Piezoelectricos - Funcionamiento.* Buenos Aires – Argentina : Cise Electronics Corp, 2010. 5411-4637-8381.

MARTÍ, Albert. *Inyección electrónica en motores Diesel.* Barcelona (España) : Marcombo Bioxareu, 1996. 84-267-1076-X.

MAURIAR. Manometro cympa byeca características tecnicas. [En línea] 02 de Octubre de 2015. [Citado el: 18 de Julio de 2023.] <https://www.slideshare.net/mauriar/manometro-cympa-byeca-caracteristicas-tecnicas>.

Mecanicautomotores. 2016. *Inyección indirecta diesel.* [En línea] Mecanicautomotores, Junio de 2016. [Citado el: 13 de Mayo de 2023.] <http://mecanicautomotores.blogspot.com/2014/06/inyeccion-indirecta-diesel.html>.

MONTES, Andrés, SEGURA, Arley & QUINTERO, Henry. Banco de pruebas con control inalámbrico para inyectores de gasolina. [En línea] 2 de Octubre de 2019. [Citado el: 18 de Julio de 2023.] <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/22448/ArleyFelipePizaSegura-2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

NAVAS, Orlando. Manual de Inyectores Diesel. [En línea] 03 de Octubre de 2018. [Citado el: 26 de Mayo de 2023.] <https://www.scribd.com/document/390069376/Manual-Inyectores-Diesel#.390069376>.

ORDOÑEZ, Jairo & QUICHIMBA, Jefferson. Reconstrucción del comprobador de inyectores marca hartridge. [En línea] 31 de Mayo de 2022. [Citado el: 27 de Mayo de 2023.] <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/22668/1/UPS-CT009811.pdf>. 22668.

PEREYA, Alfrdo. Prueba de inyectores . [En línea] 21 de Diciembre de 2016. [Citado el: 22 de Julio de 2023.] <https://www.scribd.com/document/334792428/laboratorio.334792428>.

PIARPUEZÁN, Marlon. Motores de combustión interna. [En línea] 2016. [Citado el: 27 de Mayo de 2023.] <https://docplayer.es/13000015-Escuela-politecnica-nacional-motores-de-combustion-interna.html>. 13000015.

RAMOS, Alexander, et. al. Estudio tecnico y educativopara la implementacion de un comprobador cacero de inyectores . [En línea] 04 de 02 de 2013. [Citado el: 22 de 08 de 2013.] <https://es.slideshare.net/UchihaJinson/comprobador-de-inyectores>.

REFACCIONES INDUSTRIALES . Mangueras de Alta Presión: Tipos, Características y Beneficios. [En línea] 2022. [Citado el: 08 de Julio de 2023.] <https://brr.mx/mangueras-de-alta-presion-tipos-caracteristicas-y-beneficios/>.

REVECO, Luis. Inyector Heui. [En línea] 29 de Septiembre de 2011. [Citado el: 15 de Junio de 2023.] https://es.slideshare.net/Luis_Reveco/inyector-heui.

ROJAS, Oswaldo & SALAS, Julio. *Producción automatizada. Sistemas CAD/CAE/CAM.* Lima, Perú : Industrial Data, 2015. 1560-9146.

ROMERO, Antonio. Marco metodológico. [En línea] 15 de Agosto de 2011. [Citado el: 12 de Junio de 2023.] <http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/21544/Capitulo3.pdf>.

SANTOS. Inyector Mecanico: Funcionamiento y Como. [En línea] 20 de Noviembre de 2018. [Citado el: 27 de Mayo de 2023.] <https://www.scribd.com/document/393697954/Inyector-Mecanico.393697954>.

TALLER ACTUAL . Sistema de inyección Diesel 'Common rail' Bosch. [En línea] Boschrecta, 2020. [Citado el: 10 de Mayo de 2023.] <https://talleractual.com/tecnica/partes-de-motor/8558-sistema-de-inyeccion-diesel-common-rail-boschrecta>.

TECNIDIESEL. *Inyección Directa* . [En línea] TECNIDIESEL, 18 de Agosto de 2008. [Citado el: 13 de Mayo de 2023.] <http://inyecciondiesel.blogspot.com/2008/08/inyeccin-directa-en-motores-diesel-las.html>.

TIGSE, Wilmer. inyector Heui. [En línea] 20 de Agosto de 2014. [Citado el: 27 de Mayo de 2023.] <https://www.scribd.com/document/237319261/inyector-heui>. 237319261.

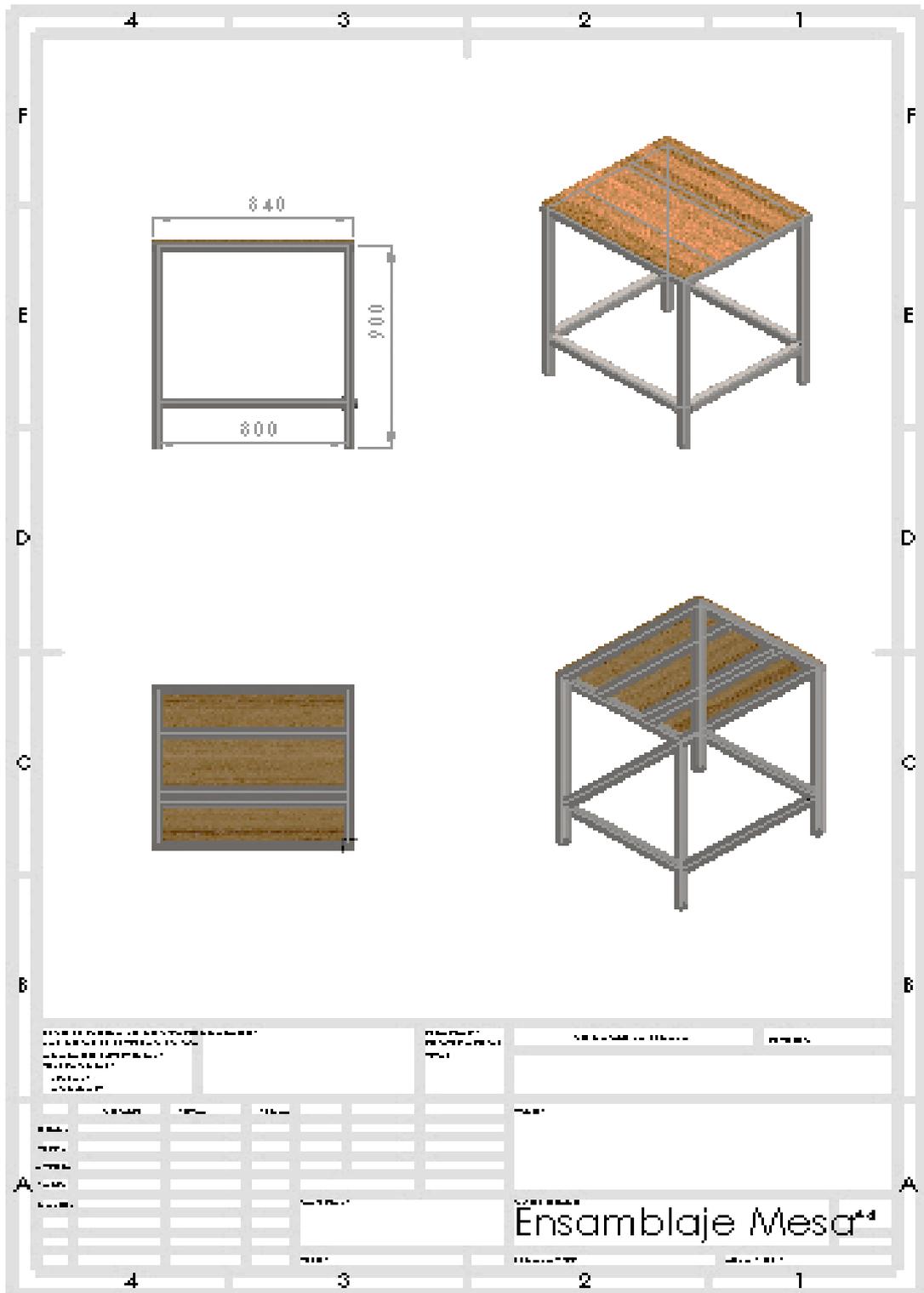
VARGAS, Felipe. Unidades Inyectoras. [En línea] 05 de Noviembre de 2013. [Citado el: 15 de Junio de 2023.] <https://www.scribd.com/doc/181798105/Unidades-inyectoras>. 181798105.

VICEDIRECCIÓN DE MECANIZACIÓN, UPPH . Manual del mantenimiento del sistema de alimentación. [En línea] 10 de Julio de 2012 . [Citado el: 19 de Agosto de 2023.] https://openjicareport.jica.go.jp/pdf/12176343_02.pdf. 12176343.

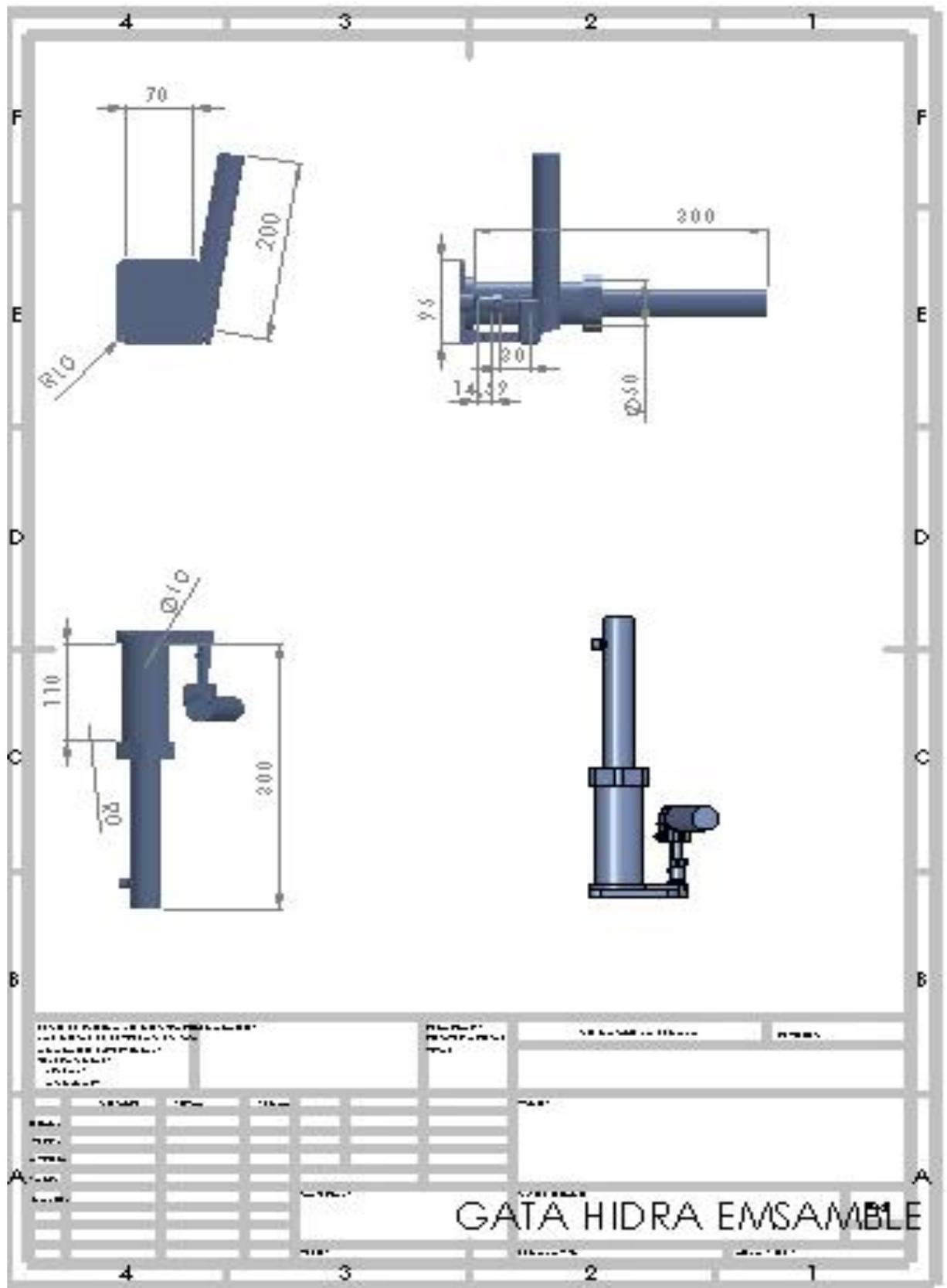


ANEXOS

ANEXO A: PLANOS DEL SOPORTE BASE



ANEXO B: PLANOS GATO HIDRAULICO



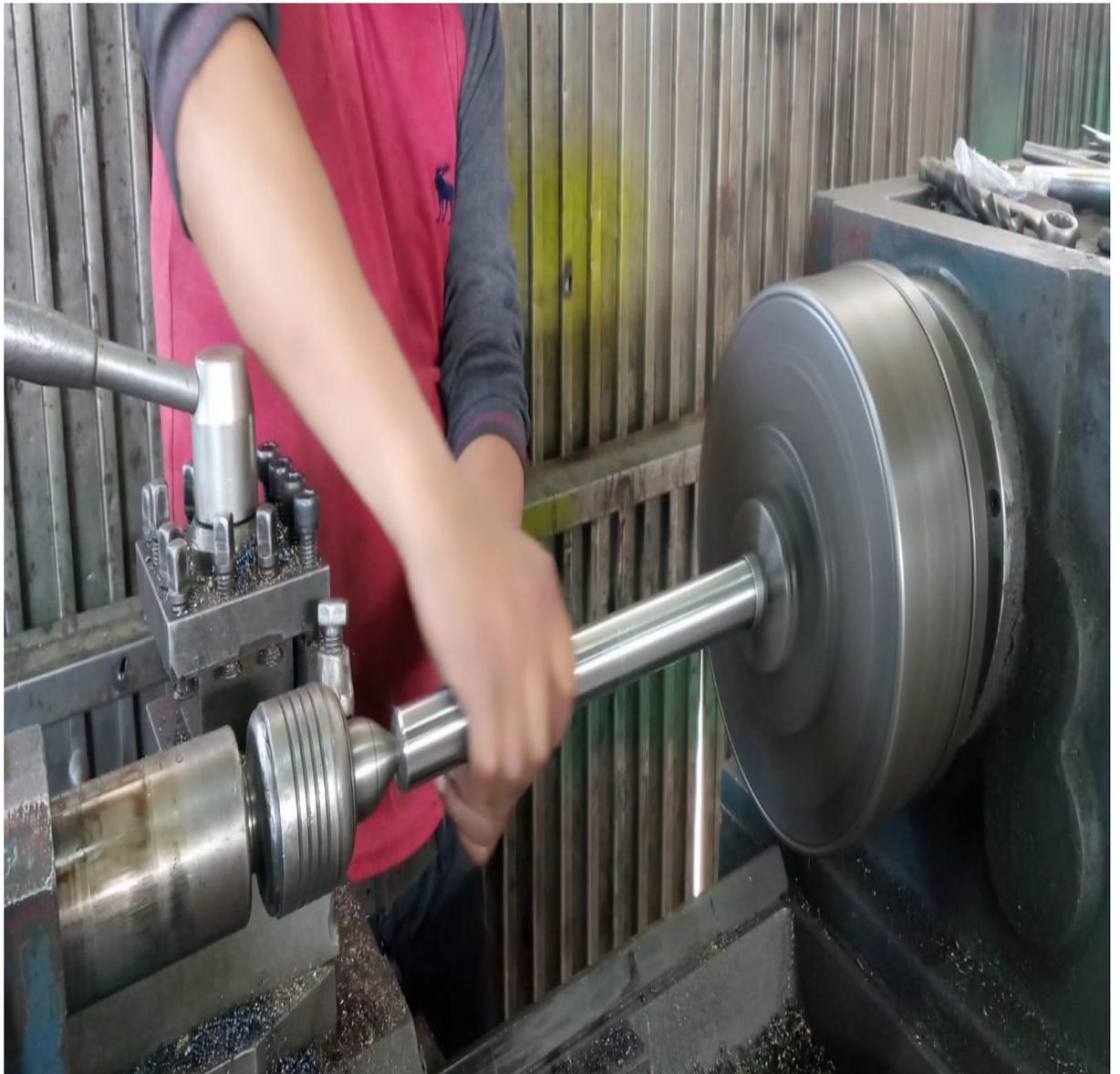
ANEXO C: CORTE DEL MATERIAL



ANEXO D: SOPORTE BASE FINALIZADA



ANEXO E: MECANIZADO DEL TUBO



ANEXO F: FRESADO DEL TUBO



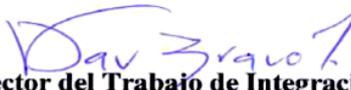
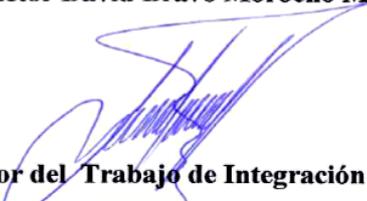
ANEXO G: GATA, INYECTORES Y MANOMETRO





ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
CERTIFICADO DE CUMPLIMIENTO DE LA GUÍA PARA
NORMALIZACIÓN DE TRABAJOS DE FIN DE GRADO

Fecha de entrega: 31/01/2024

INFORMACIÓN DEL AUTOR
Nombres – Apellidos: EVELYN PATRICIA QUIMBITA QUIMBITA
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: MECÁNICA
Carrera: INGENIERÍA AUTOMOTRIZ
Título a optar: INGENIERA AUTOMOTRIZ
<p style="text-align: center;"> Firma del director del Trabajo de Integración Curricular Ing. Victor David Bravo Morocho Msc.</p> <p style="text-align: center;"> Firma del Asesor del Trabajo de Integración Curricular Ing. Milton Israel Quinga Morales Msc.</p>