



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DIDÁCTICO PARA EL ANÁLISIS DE
UN SISTEMA DE DIRECCIÓN HIDRÁULICA TIPO PIÑÓN CREMALLERA DE UN
VEHÍCULO CATEGORÍA M1 PARA EL LABORATORIO DE INGENIERÍA
AUTOMOTRIZ SEDE QUITO

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

AUTORES: ERICK DAVID ENRIQUEZ MINA
PABLO CRISTIAN TUZA GUALPA

TUTOR: MARIO ALEXANDER PERALVO CLAVÓN

Quito – Ecuador

2025

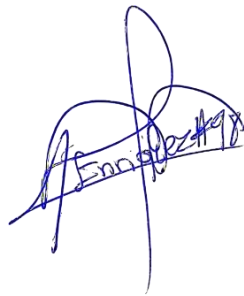
CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Erick David Enriquez Mina, con documento de identificación N°1718657875 y Pablo Cristian Tuza Gualpa con documento de identificación N°1750724930 manifestamos que:

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

Quito, 15 de septiembre del año 2025

Atentamente,



Erick David Enriquez Mina
1718657875



Pablo Cristian Tuza Gualpa
1750724930

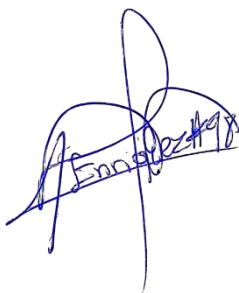
CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Nosotros, Erick David Enriquez Mina, con documento de identificación N°1718657875 y Pablo Cristian Tuza Gualpa con documento de identificación N°1750724930, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Proyecto Técnico: "Diseño y construcción de un banco didáctico para el análisis de un sistema de dirección hidráulica tipo piñón cremallera de un vehículo categoría M1 para el laboratorio de Ingeniería Automotriz Sede Quito", el cual ha sido desarrollado para optar por el título de Ingenieros Automotrices, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

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

Quito, 15 de septiembre del año 2025

Atentamente,



Erick David Enriquez Mina
1718657875



Pablo Cristian Tuza Gualpa
1750724930

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Mario Alexander Peralvo Clavon con documento de identificación N° 1718133448, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DIDÁCTICO PARA EL ANÁLISIS DE UN SISTEMA DE DIRECCIÓN HIDRÁULICA TIPO PIÑÓN CREMALLERA DE UN VEHÍCULO CATEGORÍA M1 PARA EL LABORATORIO DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ SEDE QUITO, realizado por Erick David Enriquez Mina, con documento de identificación N°1718657875 y Pablo Cristian Tuza Gualpa con documento de identificación N°1750724930, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción: Proyecto Técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 15 de septiembre del año 2025

Atentamente,



Ing. Mario Alexander Peralvo Clavón MsC.

1718133448

DEDICATORIA

El presente proyecto de titulación se lo dedicamos a nuestros padres ya que han sido las personas que han estado incondicionalmente apoyando en todo momento el proceso de obtención del título de tercer nivel a pesar de cualquier adversidad.

Asimismo, dedicarlo a nuestros seres queridos que no se encuentran en este mundo y hubiéramos querido que nos acompañen en esta importante situación.

También una especial dedicatoria para las personas que a pesar de no ser familiares te ayudan sin una doble intención y te impulsan a superarte, a veces un buen consejo viene de un amigo.

Erick Enriquez y Pablo Tuza

AGRADECIMIENTO

Agradecimiento a Dios que nos brinda la salud necesaria para poder continuar ante cualquier situación y a la ciencia por permitirnos expandir nuestros conocimientos teóricos y prácticos al mismo tiempo.

Agradecemos a nuestros padres y familiares que brindan siempre apoyo incondicional y se hacen presente durante todas las etapas de nuestras vidas, por enseñarnos los valores necesarios para crecer como personas y por enseñarnos a no desistir antes situaciones difíciles.

Queremos expresar agradecimiento a todos los profesores que tienen la vocación de enseñar, a esos docentes que, con su pasión, dedicación y la manera en que abordan cada clase, nos impulsan a ir más allá, a explorar, a cuestionar y, en última instancia, a convertirnos en versiones mejoradas de nosotros mismos.

Erick Enriquez y Pablo Tuza

ÍNDICE DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	1
PROBLEMA	2
Delimitación del problema	3
Objetivo General.....	4
Objetivos Específicos	4
CAPÍTULO 1	5
1. MARCO TEÓRICO.....	5
1.1 Sistema hidráulico	5
1.2 Sistema de dirección.....	6
1.3 Tipos de sistemas de dirección.....	7
1.3.1 Sistemas de dirección mecánica.....	7
1.3.1.1 Piñón y cremallera.....	7
1.3.1.2 Bolas recirculantes	8
1.3.2 Sistemas de dirección asistida.....	9
1.3.2.1 Hidráulica (HPS).....	9
1.3.2.2 Electrohidráulica (EHPS).....	10
1.3.2.3 Eléctrica (EPS)	11
1.3.3 Sistemas de dirección avanzados	12
1.3.3.1 Delantera activa (AFS).....	13
1.3.3.2 Por cable (SBW).....	13
1.3.3.3 En las cuatro ruedas (4WS o Quadra).....	14
CAPÍTULO 2	17
2. FUNDAMENTOS DEL SISTEMA DE DIRECCIÓN HIDRÁULICA.....	17
2.1 Funcionamiento del sistema de dirección hidráulica tipo piñón y cremallera	17
2.2 Partes del sistema de dirección asistida hidráulica.....	17
2.2.1 Bombas	18
2.2.2 Válvula de alivio (PRV).....	24
2.2.3 Válvula rotatoria	25
2.2.4 Líneas hidráulicas	26
2.2.5 Cilindro de dirección	27
CAPÍTULO 3	28

3. DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DEL BANCO DIDÁCTICO	28
3.1 Diseño y simulación de esfuerzos y deformaciones.....	28
3.1.1 Acero ASTM A36.....	38
3.1.2 Soldaduras eléctricas.....	39
CAPÍTULO 4	41
4. CONSTRUCCIÓN DEL BANCO DIDÁCTICO DEL SISTEMA DE DIRECCIÓN HIDRÁULICA	41
4.1 Adquisición de los componentes del sistema de dirección hidráulico	41
4.2 Materiales y herramientas	50
4.2.1 Materiales.....	50
4.2.2 Herramientas	51
4.3 Fabricación de la estructura del banco de pruebas.....	51
CAPÍTULO 5	64
5. MANUAL DE INSTRUCCIONES PARA EL USO DEL BANCO DIDÁCTICO	64
5.1 Manual de uso y cuidado.....	64
5.1.1 Precauciones Eléctricas.....	64
5.1.2 Precauciones de seguridad	65
5.1.3 Guía de uso	65
5.1.4 Mantenimiento y cuidado	68
5.1.5 Mantenimiento Diario.....	69
5.1.6 Mantenimiento Periódico.....	69
5.1.7 Almacenamiento	69
5.2 Características de construcción	70
5.2.1 Planos.....	70
5.2.2 Dimensiones y espacio.....	70
5.2.3 Tratamiento anticorrosión	71
5.2.4 Bases y anclajes	72
5.2.5 Aislamiento de vibraciones.....	72
5.2.6 Señalización y protección	73
5.2.7 Cableado y conexiones	73
5.2.8 Paneles de operación.....	74
5.3 Peso y dimensiones de los componentes de dirección	74
5.4 Cuidados a la hora de manipulación del banco	78

CONCLUSIONES.....	79
RECOMENDACIONES.....	80
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	81

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Sistema hidráulico genérico	6
Figura 1.2: Tipos de sistemas de dirección.....	7
Figura 1.3: Piñón y cremallera.....	8
Figura 1.4: Bolas recirculantes.....	9
Figura 1.5: Bomba de dirección asistida HPS.....	10
Figura 1.6: Sistema de dirección EHPS	11
Figura 1.7: Sistema de dirección eléctrica	12
Figura 1.8: Sistema de dirección delantera activa.....	13
Figura 1.9: Sistema de dirección por cable.....	14
Figura 1.10: Sistema de dirección en las cuatro ruedas	15
Figura 1.11: Sistema de dirección en las cuatro ruedas	16
Figura 2.1: Principio de Pascal	17
Figura 2.2: Esquema de un sistema de dirección hidráulico.....	18
Figura 2.3: Bomba de paletas.....	19
Figura 2.4: Bomba de dirección con válvula de derivación (EV2).....	20
Figura 2.5: Vista en corte de una bomba variable.....	21
Figura 2.6: Elemento de bombeo de una bomba de pistones radiales.....	22
Figura 2.7: Bomba de pistones radiales	23
Figura 2.8: Vista en corte de una bomba tándem.....	24
Figura 2.9: Válvula de alivio	25
Figura 2.10: Válvula rotatoria.....	26
Figura 2.11: Línea de suministro	27
Figura 2.12: Montaje tubo y cremallera.....	27
Figura 3.1: Disposición de los elementos de un sistema de dirección hidráulica	29
Figura 3.2: Dibujo de la estructura del banco didáctico en Ansys.....	30

Figura 3.3: Distribución de las fuerzas aplicadas	31
Figura 3.4: Fuerza del depósito.....	31
Figura 3.5: Fuerza de los medidores de presión y temperatura.....	32
Figura 3.6: Fuerza del motor eléctrico y batería 12 V	32
Figura 3.7: Fuerza de la columna de dirección y la articulación de la columna	33
Figura 3.8: Fuerza de la caja de dirección hidráulica.....	33
Figura 3.9: Fuerza de los neumáticos.....	34
Figura 3.10: Reacción de las ruedas	34
Figura 3.11: Deformación Total.....	35
Figura 3.12: Esfuerzo Equivalente de Von Mises.....	36
Figura 3.13: Factor de Seguridad.....	36
Figura 4.1: Bomba de dirección asistida.....	42
Figura 4.2: Caja de dirección tipo piñón y cremallera	42
Figura 4.3: Columna de dirección.....	43
Figura 4.4: Articulación de la columna de dirección	43
Figura 4.5: Depósito de expansión para líquido hidráulico	44
Figura 4.6: Volante de dirección.....	44
Figura 4.7: Motor eléctrico monofásico.....	45
Figura 4.8: Líneas hidráulicas	45
Figura 4.9: Acoples hidráulicos	46
Figura 4.10: Cables M12.....	46
Figura 4.11: Cables multifilares.....	47
Figura 4.12: Tomacorriente y enchufe.....	47
Figura 4.13: Batería 12 V	48
Figura 4.14: Medidores de presión y medidores de temperatura	48
Figura 4.15: Garrucha industrial con freno de 3”	49
Figura 4.16: Garrucha industrial sin freno de 3”	49
Figura 4.17: Bodega de Proviaceros Tumbaco	51
Figura 4.18: Corte de tubos para la estructura	52
Figura 4.19: Soldadura de la base de la estructura.....	52
Figura 4.20: Soldadura de apoyos de neumáticos, cremallera y columna de dirección.....	53

Figura 4.21: Soldadura de platinas.....	53
Figura 4.22: Soldadura de la cajonera.....	54
Figura 4.23: Soldadura de platina base de bomba de dirección, batería de 12V y motor eléctrico.....	54
Figura 4.24: Montaje de elementos para comprobación de medidas y estabilidad.....	55
Figura 4.25: Soldadura soporte de medidores de presión y temperatura	55
Figura 4.26: Soldadura de base de medidores y láminas de relleno	56
Figura 4.27: Soldadura de base de depósito de líquido hidráulico	56
Figura 4.28: Soldadura de ruedas para movilidad	57
Figura 4.29: Lijada y pulida de la estructura	57
Figura 4.30: Pintura, tiner y uniprimer	58
Figura 4.31: Fondo de uniprimer	58
Figura 4.32: Pintado de la estructura	59
Figura 4.33: Pintado de platinas.....	59
Figura 4.34: Montaje de componentes del sistema de dirección	60
Figura 4.35: Colocación de banda de tres canales	60
Figura 4.36: Instalación de líneas hidráulicas	61
Figura 4.37: Instalación de medidores de presión y temperatura.....	61
Figura 4.38: Instalaciones eléctricas	62
Figura 4.39: Completar depósito del líquido hidráulico	62
Figura 4.40: Banco didáctico de un sistema de dirección hidráulica de vehículos tipo M1.	63
Figura 5.1: Precaución eléctrica.....	64
Figura 5.2: Precaución	65
Figura 5.3: : Banco didáctico de dirección hidráulica.....	66
Figura 5.4: Tensado de las bandas	66
Figura 5.5: Conexión eléctrica.....	67
Figura 5.6: Funcionamiento	67
Figura 5.7: Enchufe eléctrico.....	68
Figura 5.8: Nivel de aceite hidráulico completo	69
Figura 5.9: Plano.....	70
Figura 5.10: Dimensiones	71

Figura 5.11: Tratamiento anticorrosivo.....	71
Figura 5.12: Soportes.....	72
Figura 5.13: Bujes.....	72
Figura 5.14: Señalización.....	73
Figura 5.15: Conexiones.....	73
Figura 5.16: Interruptor.....	74
Figura 5.17: Peso de la cremallera de dirección.....	74
Figura 5.18: Peso de la bomba de dirección hidráulica.....	75
Figura 5.19: Peso de la columna de dirección y volante.....	75
Figura 5.20: Peso de la batería de 12 V.....	76
Figura 5.21: Peso del motor eléctrico.....	76
Figura 5.22: Ancho de la estructura del banco.....	77
Figura 5.23: Largo de la estructura del banco.....	77
Figura 5.24: Alto de la estructura del banco.....	78

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1: Esfuerzos calculados.....	38
Tabla 3.2: Propiedades del material ASTM A36 BAR, para las barras.....	38
Tabla 3.3: Propiedades del material ASTM A36 PLATE, para las platinas.....	39
Tabla 4.1: Materiales utilizados	50
Tabla 4.2: Herramientas utilizadas.....	51

RESUMEN

Un sistema de dirección es un componente fundamental en todo tipo de automóvil, se encarga de facilitar el giro del volante, mejorar la maniobrabilidad del vehículo y reducir el esfuerzo físico del conductor. Existen varios tipos de sistemas de dirección que difieren en su diseño, tecnología y funcionalidad. Los sistemas de dirección hidráulica (HPS) utilizan la fuerza del motor por medio de una bomba hidráulica que genera la presión necesaria para que el líquido hidráulico circule por la caja de dirección, las cañerías y mangueras haciendo que la conducción sea más cómoda. Este tipo de sistemas son comunes en vehículos de transporte de pasajeros, de transporte de mercancía, tractores y maquinaria pesada.

Por otra parte, también existen los sistemas de dirección eléctrica (EPS) que emplean sensores que detectan la velocidad del automóvil, la fuerza que el conductor aplica en el volante y otros factores para que un motor eléctrico situado en el volante y comandado por una Unidad de Control Electrónico (ECU) proporcione la asistencia para girar las ruedas siendo más eficiente y también más livianas. La dirección eléctrica es más frecuente de ver en los mercados de Europa, Japón y el TLCAN en vehículos tipo turismo, familiares, eléctricos e híbridos, camiones medianos y pesados, y autobuses.

En la actualidad se siguen desarrollando nuevas tecnologías para implementar a los sistemas de dirección y de esa manera mejorar la eficiencia del sistema, así como la comodidad y seguridad del piloto. Algunos sistemas de dirección con nuevas tecnologías son: El sistema de dirección delantera activa (AFS) que ajusta el ángulo de dirección según las condiciones de conducción mejorando la estabilidad; también el sistema de dirección por cable (SBW) en el cual se reemplaza la conexión mecánica entre el volante y las ruedas por controles electrónicos; por último, el sistema de dirección en las cuatro ruedas (4WS) donde las ruedas delanteras y traseras pueden girar lo que mejora el control y estabilidad a altas velocidades.

Palabras Clave: Dirección hidráulica, dirección eléctrica, unidad de control electrónico, dirección activa, dirección por cable.

ABSTRACT

A steering system is a fundamental component in every type of automobile, it is responsible for facilitating steering wheel turning, improving vehicle maneuverability and reducing the driver's physical effort. There are several types of steering systems that differ in their design, technology and functionality. Hydraulic steering systems (HPS) use engine power through a hydraulic pump that generates the necessary pressure for the hydraulic fluid to circulate through the steering box, pipes and hoses, making driving more comfortable. These types of systems are common in passenger transport vehicles, goods transport vehicles, tractors and heavy machinery.

On the other hand, there are also electric steering systems (EPS) that use sensors that detect the speed of the car, the force the driver applies to the steering wheel and other factors so that an electric motor located in the steering wheel and commanded by an Electronic Control Unit (ECU) provides the assistance to turn the wheels more efficiently and also lighter. Electric steering is most commonly seen in the European, Japanese and NAFTA markets in passenger, family, electric and hybrid vehicles, medium and heavy trucks, and buses.

Currently, new technologies continue to be developed to be implemented in steering systems to improve the efficiency of the system, as well as the comfort and safety of the pilot. Some steering systems with new technologies are: Active Front Steering System (AFS) which adjusts the steering angle according to driving conditions improving stability; also the Steering by Wire (SBW) system in which the mechanical connection between the steering wheel and the wheels is replaced by electronic controls; finally, the Four Wheel Steering System (4WS) where the front and rear wheels can rotate which improves control and stability at high speeds.

Keywords: Hydraulic steering, electric steering, electronic control unit, active steering, cable steering.

INTRODUCCIÓN

Dentro de la industria nacional del sector automotriz el sistema de dirección hidráulica tipo piñón y cremallera sigue siendo una de las más comunes de encontrar en una vasta cantidad de vehículos categoría M1 por su eficiencia para reducir el esfuerzo del conductor y el bajo costo. Para facilitar la comprensión y explicación de este tipo de sistemas sobre su funcionamiento, diagnóstico y mantenimiento se requieren herramientas didácticas que complementen la teoría. El presente proyecto de titulación aborda esta problemática mediante el diseño y construcción de un banco didáctico para el análisis de un sistema de dirección hidráulica tipo piñón cremallera lo cual permitirá a estudiantes comprender el funcionamiento de manera interactiva de los elementos del sistema.

En el Capítulo 1 se expone el marco teórico en el cual se introduce el sistema de dirección y algunos de los tipos más utilizados dentro del mercado nacional e internacional según su funcionalidad y tecnología. También se detallan los sistemas encargados de suministrar la fuerza necesaria para lograr el giro de las ruedas.

El Capítulo 2 trata sobre el principio de funcionamiento de los sistemas de dirección hidráulica tipo piñón y cremallera para vehículos categoría M1 donde también se describen los elementos que lo conforman.

El Capítulo 3 se enfoca en el diseño de la estructura para el banco de pruebas que contiene el desarrollo del análisis de fuerzas y momentos, y simulación por computadora.

En el Capítulo 4 se detalla cada paso del proceso de construcción del banco didáctico de una dirección hidráulica tipo piñón y cremallera que se utiliza en un vehículo SUV Haval H5 Elite 2.4 explicando también el proceso de construcción de la estructura.

El Capítulo 5 muestra el manual de instrucciones para el funcionamiento del banco de pruebas, este incluye precauciones eléctricas y seguridad, y una guía de uso y mantenimiento y la información técnica pertinente.

Al final se exponen las conclusiones de los resultados obtenidos durante el proceso de fabricación del banco didáctico y recomendaciones para futuros proyectos.

PROBLEMA

La ausencia de un banco de pruebas de sistemas de dirección totalmente hidráulicos para vehículos tipo M1 representa un desafío para los estudiantes universitarios debido a que la experiencia práctica que se adquiere con bancos de pruebas es necesaria porque les permite comprender de mejor manera los sistemas de dirección hidráulica que existen actualmente, el no poder experimentar con diferentes parámetros y observar los efectos en un entorno controlado puede afectar de forma negativa en su vida profesional ya que de esta manera se adquiere experiencia práctica básica para los sistemas automotrices reales. Por ejemplo, el desarrollo de un banco de entrenamiento hidráulico hecho por la Universidad de Jartum permitió a los estudiantes trabajar con componentes hidráulicos básicos y comprender sus funciones además aprender a medir parámetros de rendimiento y verificar especificaciones, que son habilidades cruciales en ingeniería (Rahama, 2011). Sin esta herramienta didáctica en los laboratorios de la carrera de Ingeniería Automotriz los estudiantes podrían no desarrollar las habilidades necesarias de diagnóstico y mantenimiento para los problemas que se presenten en estos sistemas.

Dentro del contexto automotriz, los métodos de enseñanza tradicionales sin componentes interactivos y prácticos pueden resultar monótonos y reducir el interés y motivación por aprender sobre sistemas hidráulicos, según la Escuela de Fabricación Avanzada de China los sistemas de enseñanza que incluyen bancos de pruebas pueden estimular el interés de los estudiantes y hacer que el aprendizaje sea más atractivo y su sistema de enseñanza diseñado para cursos de transmisión hidráulica ha mostrado una respuesta positiva y un mejor rendimiento académico entre los estudiantes (Song, 2023). También en cuestiones de seguridad sin las clases prácticas los estudiantes están menos preparados para realizar procedimientos de mantenimiento en situaciones reales comprometiendo su seguridad dado que los empleadores esperan que los graduados tengan experiencia teórica y práctica, y estén listos para contribuir de inmediato a la empresa (Sobczyk, 2019).

Dada la tendencia global de sistemas de dirección asistida para turismos, SUV, camionetas pickups e incluso vehículos comerciales ligeros muestra claramente la sustitución de los sistemas de dirección asistida hidráulica (HPS) por sistemas de dirección asistida eléctrica (EPS). En los mercados consolidados de vehículos como Japón, Europa y el TLCAN, este

desarrollo comenzó hace unos 15 años y ya está prácticamente finalizado para toda la gama de turismos. Los mercados emergentes de Asia/Pacífico, Sudamérica y Rusia les siguen con varios años de retraso, pero a un ritmo cada vez mayor (Kuebler, 2012), dicho esto es probable que en Ecuador el más usado sea el de tipo piñón cremallera por su eficiencia, facilidad de uso y menor costo de mantenimiento. Es por esta razón que se debe mejorar la comprensión del funcionamiento de este tipo de sistemas.

La importancia del presente proyecto es que aportará un complemento al aprendizaje de los estudiantes durante las clases que se imparten en la carrera de Ingeniería Automotriz, esto les permitirá comprender de mejor manera el funcionamiento de los sistemas de dirección totalmente hidráulicos para vehículos livianos al interactuar directamente con los elementos que conforman al sistema y de esa forma confirmar lo aprendido de la teoría lo que facilitará su desenvolvimiento en el campo laboral y también impulsar el interés por el desarrollo de nuevas investigaciones o nuevas tecnologías. Por otra parte es importante resaltar que implementar nuevos bancos didácticos y tener todas las herramientas y equipos necesarios para las actividades que se deben realizar mejorará la calidad de la enseñanza y le facilitará a los docentes dictar su clase haciéndola más dinámica y activa generando mayor interés y una mejora académica en estudiantes actuales, y atrayendo a nuevos alumnos que estén interesados en el mundo automotriz beneficiando así a los estudiantes, a los profesores y a la universidad.

Delimitación del problema

El presente proyecto de titulación se lo realizará en las instalaciones de la Universidad Politécnica Salesiana sede Quito Campus Sur dentro de los laboratorios de la carrera de Ingeniería Automotriz ya que ahí existen las herramientas y el espacio adecuado para la fabricación del banco de pruebas.

El proceso de desarrollo del proyecto de titulación será durante el periodo marzo hasta agosto del 2025, periodo que incluye todas las etapas del proceso que va desde la obtención de los elementos del sistema de dirección, el diseño y construcción de la estructura, instalación de componentes hasta las pruebas para validación del funcionamiento.

Objetivo General

Diseñar y construir un banco didáctico funcional para el estudio de un sistema de dirección hidráulica tipo piñón cremallera de vehículos de categoría M1, con enfoque totalmente mecánico, para una mejor formación en la parte práctica de los estudiantes de la carrera de Ingeniería Automotriz.

Objetivos Específicos

- Recolectar información necesaria para análisis de los componentes y el funcionamiento de los sistemas de dirección totalmente hidráulica empleadas en automotores tipo M1 mediante los diferentes motores de búsqueda con el fin de obtener una comprensión detallada de su funcionamiento.
- Realizar el diseño de la estructura para el banco didáctico con la ayuda del diseño asistido por computadora (CAD) para asegurar una representación precisa y funcional.
- Construir un banco de pruebas de acuerdo a el diseño previamente elaborado empleando materiales apropiados para garantizar su durabilidad y un buen desempeño.
- Hacer un manual de instrucciones del funcionamiento del banco didáctico a través de Word y con la ayuda del docente tutor con la finalidad de facilitar el entendimiento del sistema.

CAPÍTULO 1

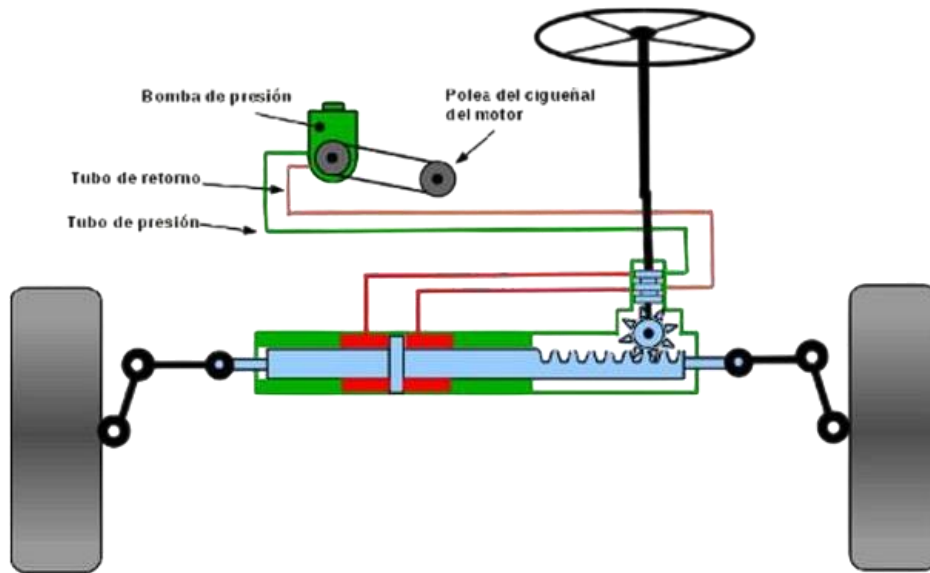
1. MARCO TEÓRICO

1.1 Sistema hidráulico

La dirección es el conjunto de piezas articuladas que permite a cualquier vehículo seguir la trayectoria requerida. El mecanismo de dirección tradicional consiste en girar las ruedas delanteras mediante el volante, utilizando columnas de dirección y juntas universales, para permitir que gire ligeramente respecto a la línea recta. El sistema de dirección debe proporcionar un control mecánico sobre las rótulas de las ruedas delanteras, facilitando al conductor un giro sin esfuerzo en la dirección deseada. El sistema de dirección está diseñado para soportar la tensión de maniobrar el vehículo con seguridad en cualquier condición de conducción, ajustando continuamente la trayectoria del vehículo. El sistema de dirección proporciona control direccional con mínima intervención (Abhiteja, 2019).

Un sistema hidráulico, en general, es un conjunto de componentes interconectados que utiliza un líquido a presión para transmitir y controlar energía. Presenta una amplia gama de aplicaciones que abarca prácticamente todos los campos de producción, fabricación y servicio. Por ende, los requisitos de transmisión y control de energía son muy diversos y, por lo tanto, la estructura de cada sistema hidráulico presenta sus propias particularidades. Sin embargo, al analizar los sistemas hidráulicos actuales, se pueden identificar cuatro funciones principales, como se presenta en la Figura 1.1, que son: conversión de energía primaria, limitación y control de energía, conversión de energía secundaria, y almacenamiento y acondicionamiento de fluidos. Además, esta figura muestra los principales recursos que fluyen a través de un sistema hidráulico y que pueden agruparse en las clases: información, material y energía. La entrada de energía mecánica (M), que es un resultado de la conversión externa de energía eléctrica o química primaria (combustión), se convierte en energía hidráulica (H). Usando señales o datos (S, D) de un operador o de otro equipo, la energía hidráulica (H) se limita y controla de tal manera que sea apropiada para la conversión en energía mecánica (M). Esta energía mecánica es la salida deseada del sistema hidráulico y se utilizará para impulsar o mover dispositivos externos (Cardona, 2017).

Figura 1.1: Sistema hidráulico genérico



Fuente: (Cardona, 2017)

Los sistemas de control hidráulico se utilizan en muchas aplicaciones de ingeniería para controlar el movimiento y la fuerza de sistemas mecánicos. Frente a las tecnologías competidoras de transmisión de potencia mecánica (es decir, accionamientos mecánicos o eléctricos), los accionamientos hidráulicos ofrecen características favorables tanto desde el punto de vista de la relación potencia-peso como del control. Los sistemas hidráulicos más avanzados pueden ser hasta un orden de magnitud más ligeros que los sistemas eléctricos con el mismo nivel de potencia (o par). Además, en comparación con los accionamientos mecánicos, los sistemas hidráulicos ofrecen una mayor flexibilidad de disposición gracias al versátil diseño del sistema de tuberías o mangueras que conecta los componentes hidráulicos. La tecnología de accionamiento hidráulico también ofrece fácilmente soluciones para el control avanzado de actuadores, en términos de velocidad y fuerza de salida, inversiones de movimiento y funciones de seguridad (Vacca, 2021).

1.2 Sistema de dirección

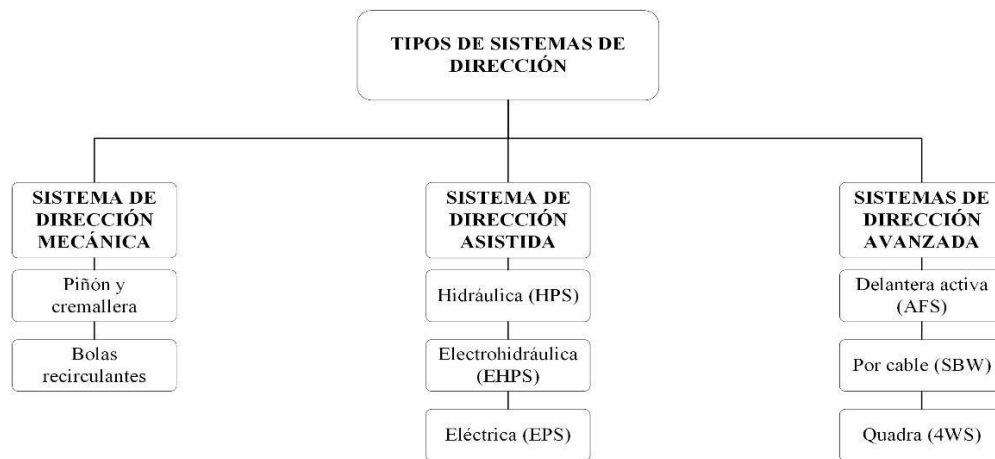
La dirección es el conjunto de piezas articuladas que permite a cualquier vehículo seguir la trayectoria requerida. El mecanismo de dirección tradicional consiste en girar las ruedas delanteras mediante el volante, utilizando columnas de dirección y juntas universales, para

permitir que gire ligeramente respecto a la línea recta. El sistema de dirección debe proporcionar un control mecánico sobre las rótulas de las ruedas delanteras, facilitando al conductor un giro sin esfuerzo en la dirección deseada. El sistema de dirección está diseñado para soportar la tensión de maniobrar el vehículo con seguridad en cualquier condición de conducción, ajustando continuamente la trayectoria del vehículo. El sistema de dirección proporciona control direccional con mínima intervención (Abhiteja, 2019).

1.3 Tipos de sistemas de dirección

Los sistemas de dirección se clasifican según su tecnología y modo de funcionamiento que emplean para poder asistir al conductor para girar las ruedas siendo los principales la dirección mecánica (piñón cremallera o bolas recirculantes), la dirección asistida (HPS, EHPS, EPS) y los sistemas de dirección avanzados (delantera activa, por cable, quadra o 4WS).

Figura 1.2: Tipos de sistemas de dirección



Fuente: Erick Enriquez y Pablo Tuza

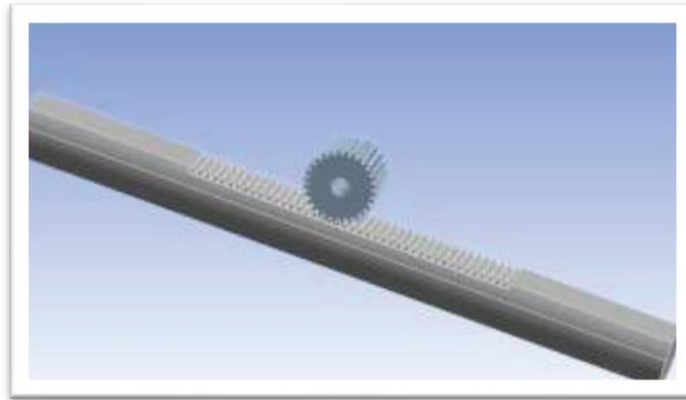
1.3.1 Sistemas de dirección mecánica

1.3.1.1 Piñón y cremallera

La dirección de cremallera es un sistema sencillo para convertir la rotación del volante en un movimiento en movimiento rectilíneo de las ruedas. El mecanismo de dirección se compone de la cremallera, el piñón y los alojamientos y cojinetes de apoyo rodamientos. Al girar el volante, el piñón gira. Debido al engranaje de los dientes del piñón con los de la cremallera,

al girar el piñón, la cremallera se desplaza hacia un lado. El movimiento de la cremallera hace que giren las ruedas porque está unida a los muñones de dirección (Sean, 2022). La Figura 1.3 muestra el piñón y la cremallera.

Figura 1.3: Piñón y cremallera



Fuente: (Sean, 2022)

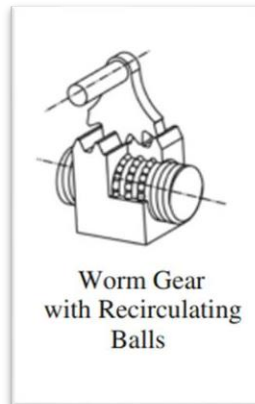
Además, el par necesario de giro es proporcionado por la fuerza del conductor y varía según el tipo de vehículo y las condiciones de la carretera. Por otra parte, al ser un conjunto compacto y ligero con características cinemáticamente más rígidas, se emplea comúnmente en vehículos de pasajeros. El par requerido por el piñón para girar se denomina «Par Libre del Piñón» (FPT). El FPT en el ensamblaje varía entre 0,4 y 0,6 Nm, incluso si las tolerancias de los componentes individuales (como la excentricidad del piñón o la flexión de la cremallera) se mantienen dentro de tolerancias ajustadas (Kamble, 2003).

1.3.1.2 Bolas recirculantes

P. W. Northey inventó el engranaje de dirección de tornillo sin fin. Si el tornillo sin fin se pone en movimiento mediante un giro del volante, el sector de la rueda que toca el tornillo sin fin gira e impulsa el brazo del pitman. Este sistema fue revisado por Henry Marles, que introdujo su diseño de «dirección por eje motriz» en 1913. Un dedo de dirección fijo o montado sobre cojinetes de rodillos encaja en la rosca del tornillo sin fin de dirección y transmite el movimiento de rotación del tornillo sin fin a un movimiento pivotante del brazo pitman. Diez años más tarde, Robert Bishop obtuvo una patente para su mecanismo de dirección de leva y rodillo más sencillo con un rodillo cónico. Por último, se desarrolló el

engranaje de recirculación de bolas. El tornillo sin fin tiene una rosca redonda con bolas recirculantes, que accionan la tuerca de dirección. Los dientes de la tuerca transmiten el movimiento a la barra de dirección (Hullmann, 2017).

Figura 1.4: Bolas recirculantes



Fuente: (Hullmann, 2017)

Los engranajes de dirección transmiten el movimiento del volante a la barra de dirección y, por tanto, a las ruedas delanteras. Además, las fuerzas que actúan sobre las ruedas se transmiten a través de la caja de dirección al volante como fuerza manual y par de dirección. La caja de dirección determina esencialmente la direccionalidad y maniobrabilidad del vehículo. La relación de transmisión de la caja de dirección debe diseñarse de forma que, por un lado, el conductor pueda aplicar los pares de dirección necesarios en cualquier situación y, por otro, el número de vueltas del volante no sea demasiado elevado en las curvas (Hullmann, 2017). Es decir, el piloto también se encarga de dar el par necesario para el giro de las ruedas.

1.3.2 Sistemas de dirección asistida

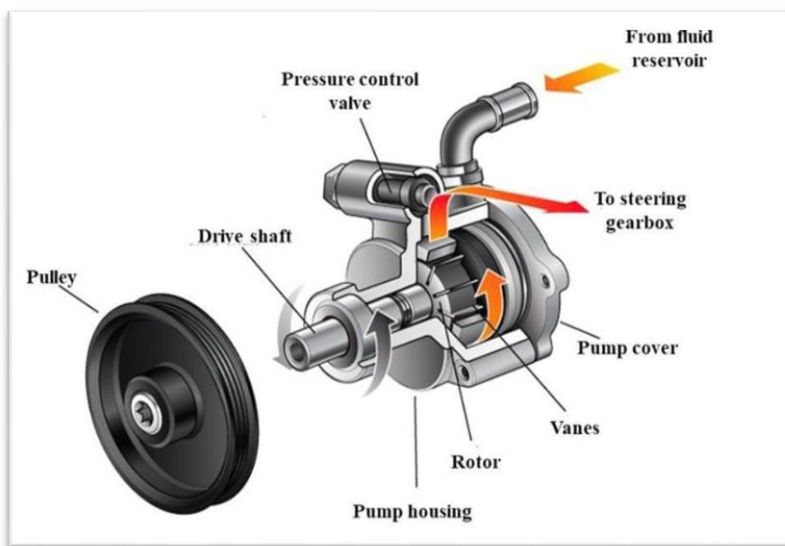
1.3.2.1 Hidráulica (HPS)

La dirección hidráulica (HPS) es un tipo de dirección asistida que utiliza presión hidráulica para ayudar al conductor a controlar el vehículo. El sistema de dirección consta del volante, la columna de dirección, el mecanismo de dirección (piñón y cremallera), la bomba de dirección, las articulaciones de dirección y las rótulas (Shevate, 2021).

Para proporcionar asistencia hidráulica, se requiere una bomba de dirección asistida, que genera y suministra la presión necesaria para proporcionar asistencia durante la dirección, reduciendo así el esfuerzo necesario para dirigir el vehículo. La bomba de dirección consta de un eje de transmisión, una carcasa de la bomba, una tapa de la bomba, un rotor, paletas, una válvula de control de flujo, una válvula de alivio de presión, un puerto de succión y un puerto de descarga (Shevate, 2021).

Las paletas del rotor de la bomba de dirección extraen el aceite hidráulico a baja presión y lo suministran a alta presión gracias a la fuerza centrífuga desde las galerías de la carcasa hasta el puerto de descarga. La bomba incorpora una válvula de alivio de presión para garantizar que la presión no supere el valor nominal a altas velocidades del motor cuando se desplaza una gran cantidad de fluido (Shevate, 2021).

Figura 1.5: Bomba de dirección asistida HPS



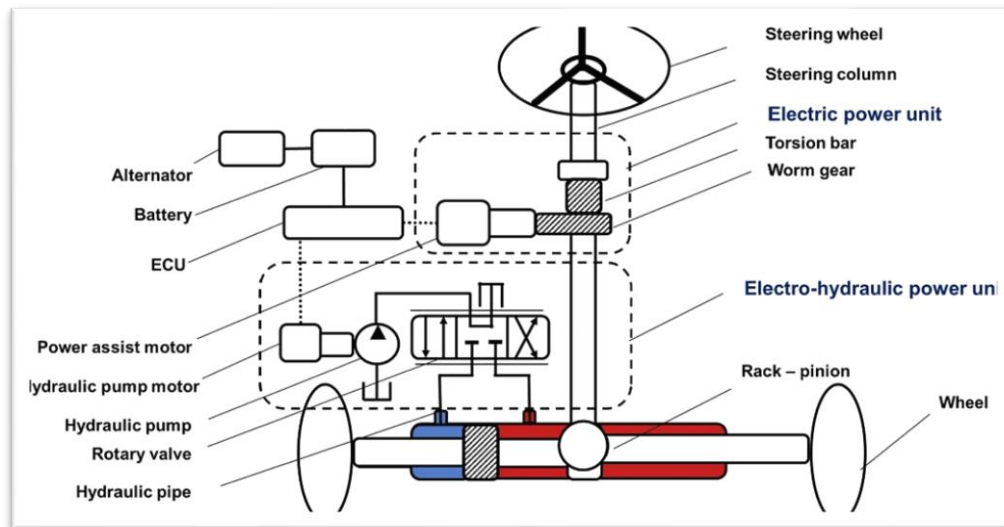
Fuente: (Shevate, 2021)

1.3.2.2 Electrohidráulica (EHPS)

Este sistema combina los elementos de los sistemas de dirección hidráulica y eléctrica donde la bomba hidráulica es impulsada por un motor eléctrico y ya no por una banda y polea conectada al motor. La dirección asistida electrohidráulica (EHPS), desarrollada a partir de la dirección asistida hidráulica, puede cambiar la fuente de energía de la bomba hidráulica y

reducir el consumo de energía de la dirección. También puede ajustar el flujo para cambiar las características de asistencia del sistema de dirección, manteniendo al mismo tiempo la sensación de carretera de la transmisión hidráulica (Zhao, 2019).

Figura 1.6: Sistema de dirección EHPS



Fuente: (Zhao, 2019)

El sistema de dirección asistida electrohidráulica (EHPS) se basa en un mapa de asistencia para calcular el par de asistencia en función de diversos parámetros del vehículo. La característica del mapa de asistencia determina el valor del par de asistencia en función de la velocidad longitudinal del vehículo, la aceleración lateral del vehículo, la velocidad del motor EHPS y el par del volante. La interacción entre las variables se representa entonces en un mapa tridimensional que guía la asistencia EHPS. El mapa de asistencia se calcula utilizando las variaciones del par motor de la dirección, la aceleración lateral del vehículo y la velocidad del motor EHPS cuando el vehículo está parado o a velocidad cero. (Perdana, 2024).

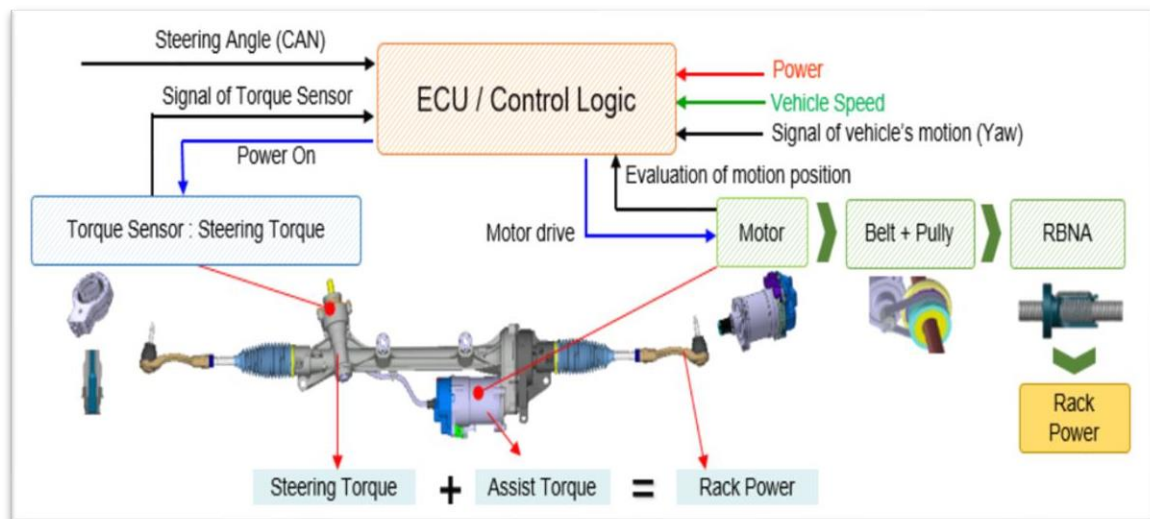
1.3.2.3 Eléctrica (EPS)

Un sistema de dirección asistida eléctrica (EPS) es un sistema completamente eléctrico diseñado para reducir la cantidad de esfuerzo de dirección requerido por el piloto al poner un

motor eléctrico en el sistema de dirección mejorando la eficiencia energética, el impacto ambiental y el rendimiento.

El sistema de dirección asistida eléctrica (EPS) ayuda al conductor a maniobrar con mayor facilidad y precisión. Los sistemas EPS se clasifican en función de la ubicación del motor y del método de transmisión de la potencia. Por ejemplo, un EPS en el que el motor está situado en el bastidor de la barra del bastidor y la potencia se transmite a través de una correa se denomina EPS asistido por bastidor (R-EPS por sus siglas en inglés). El R-EPS se instala a menudo en vehículos grandes o de lujo debido a su reputación de proporcionar un tacto de dirección y una estabilidad de conducción superiores. Como se muestra en la Figura 1.6, el R-EPS consta de una estructura formada por el motor, la correa y el RBNA (conjunto de cremallera, bola y tuerca). En función del nivel de par transmitido por el conductor, así como de la velocidad y el ángulo de giro del vehículo, la unidad de control electrónico (ECU) determina la potencia del motor. La potencia generada por el motor se transmite a través de la correa y el RBNA (Jo, 2024).

Figura 1.7: Sistema de dirección eléctrica



Fuente: (Jo, 2024)

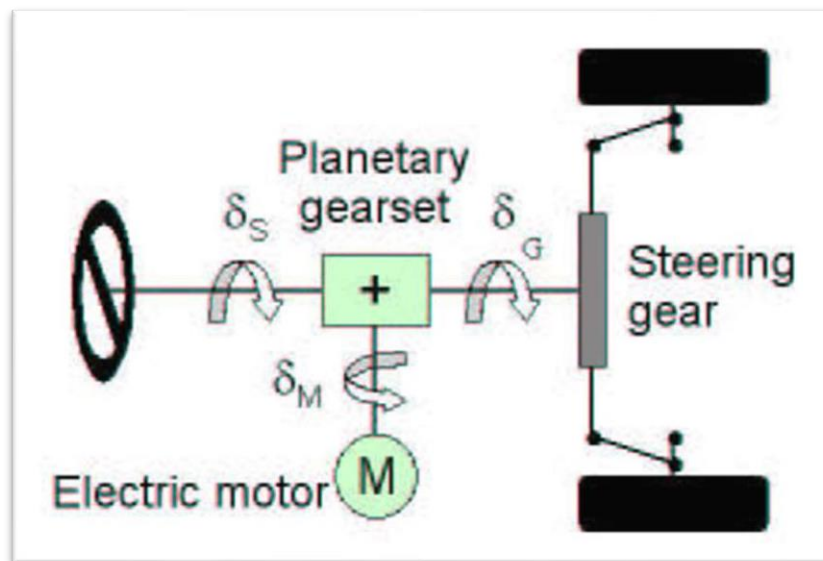
1.3.3 Sistemas de dirección avanzados

1.3.3.1 Delantera activa (AFS)

La dirección delantera activa (AFS) es una tecnología de dirección avanzada que mejora la maniobrabilidad por medio de un control electrónico del ángulo de dirección.

Es una tecnología emergente para turismos que realiza una superposición mecatrónica de un ángulo con el ángulo del volante, prescrito por el conductor. Esta contribución describe algoritmos utilizados para garantizar, entre otros, la seguridad general del sistema (es decir, la prevención de comportamientos peligrosos). En particular, se derivan observadores para estimar la posición del motor eléctrico, utilizado como actuador en el sistema de dirección delantera activa. Estos observadores se acompañan de patrones de fallo comunes, como la desviación o el desfase de los sensores (Reinelt, 2005).

Figura 1.8: Sistema de dirección delantera activa



Fuente: (Reinelt, 2005)

1.3.3.2 Por cable (SBW)

El sistema de dirección por cable (SBW) es una nueva tecnología que elimina la conexión tradicional entre el volante y los neumáticos, y en su lugar usa señales electrónicas para controlar el mecanismo de dirección lo que ofrece varias ventajas sobre los sistemas de dirección convencionales, como la reducción de peso, la reducción de vibraciones y una configuración optimizada de la funcionalidad de la dirección. Sin embargo, la ausencia de

una conexión mecánica en el sistema SbW plantea ciertos desafíos. El sistema SbW requiere una sensación de dirección adecuada, como la amortiguación y la fuerza de reacción mediante un motor de retroalimentación, y la rueda de carretera necesita un control robusto del motor de piñón para la variación normal de la carga por parte de los pasajeros y el par de autoalineación como perturbación externa. El sistema SbW se compone del módulo de retroalimentación de dirección (SFM) y el módulo de rueda de carretera (RWM) (Choi, 2024).

Figura 1.9: Sistema de dirección por cable



Fuente: (Choi, 2024)

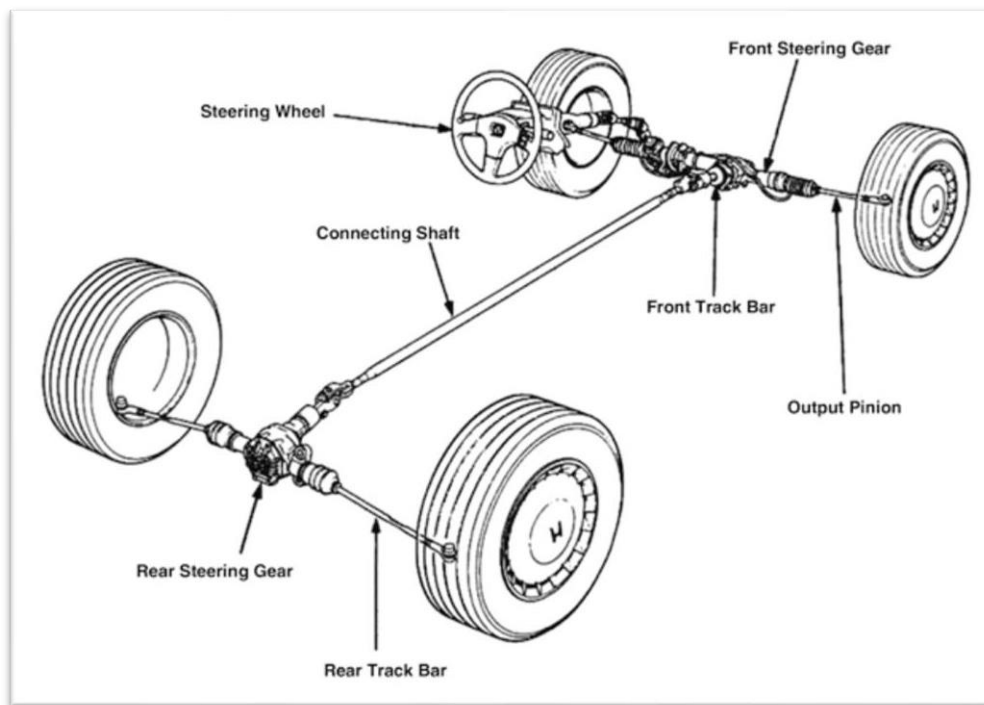
1.3.3.3 En las cuatro ruedas (4WS o Quadra)

La dirección en las cuatro ruedas es una tecnología que optimiza la dirección al permitir que las ruedas delanteras y traseras curven de manera independiente mejorando la estabilidad y seguridad del automóvil.

El sistema 4WS (dirección en las cuatro ruedas), que se está integrando en algunos vehículos, está diseñado para dirigir tanto las ruedas delanteras como las traseras. Este sistema mejora la respuesta y la estabilidad de la dirección, proporcionando maniobrabilidad en diversas condiciones de conducción y haciéndolo ideal para entornos urbanos (Park, 2025).

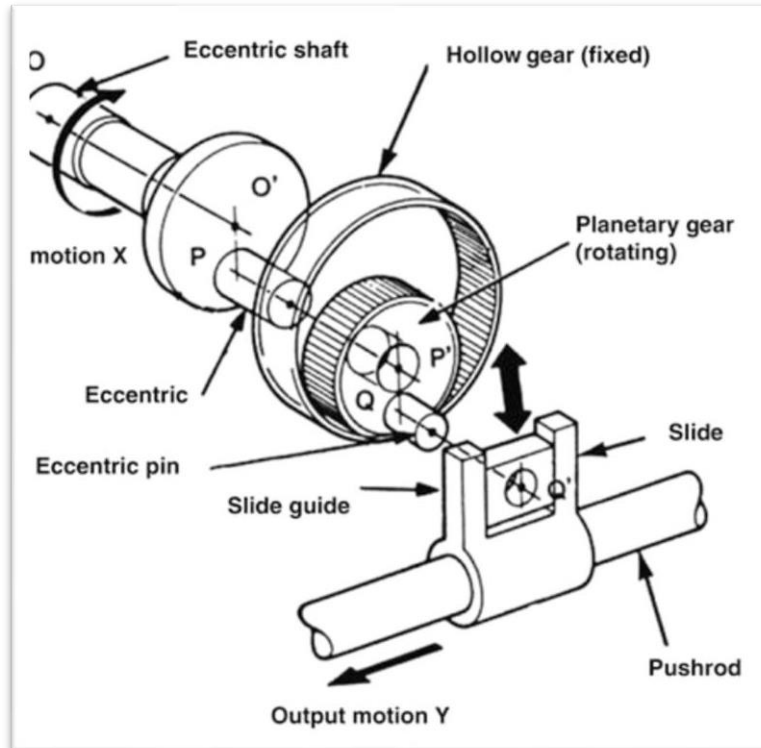
Dentro de este sistema los controladores utilizan las acciones del conductor y la dinámica del vehículo para coordinar la dirección de los ejes delantero y trasero. la dirección de las ruedas delanteras es controlada por el conductor, mientras que la dirección trasera automática asiste en la maniobra o mejora la estabilidad lateral. En todos los casos, la coordinación de la dirección delantera y trasera se basa en la respuesta del vehículo, no en la comparación de la posición, el rumbo, etc., con la de un modelo de referencia. En concreto, los sistemas 4WS clásicos suelen utilizar la dirección delantera, ya sea de un conductor humano o de un modelo de conductor para conducción autónoma, diseñado principalmente para vehículos con dirección delantera (Liu, 2024).

Figura 1.10: Sistema de dirección en las cuatro ruedas



Fuente: (Hullmann, 2017)

Figura 1.11: Sistema de dirección en las cuatro ruedas



Fuente: (Hullmann, 2017)

CAPÍTULO 2

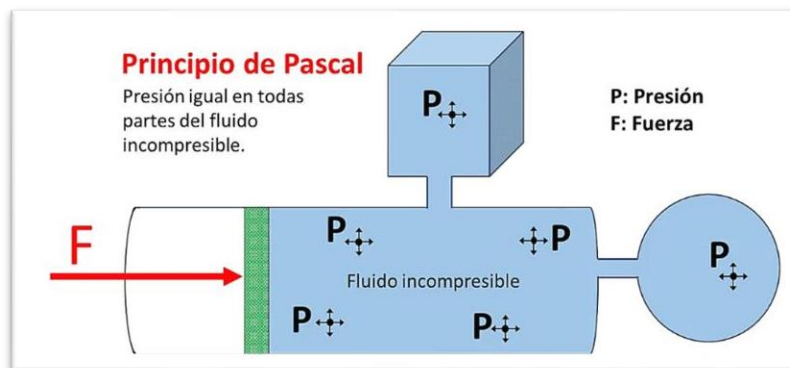
2. FUNDAMENTOS DEL SISTEMA DE DIRECCIÓN HIDRÁULICA

2.1 Funcionamiento del sistema de dirección hidráulica tipo piñón y cremallera

Los sistemas de dirección con apoyo hidráulico han venido siendo un estándar de la industria automovilística durante muchos años e incluso hoy en día se encuentra en autos compactos de última generación. El sistema de dirección de centro abierto con una bomba de paletas de caudal volumétrico controlado ha prevalecido frente a otros posibles sistemas de dirección, esencialmente por su precio (Hullmann, 2017).

Para comprender lo dicho anteriormente, es importante saber que la Ley de Pascal es fundamental para el funcionamiento de una dirección hidráulica porque este principio establece que el fluido distribuye la presión uniformemente a todos los puntos de un área cerrada y el aceite, extraído de un depósito, se introduce en la bomba mediante la potencia del motor (Yılmaz, 2022).

Figura 2.1: Principio de Pascal



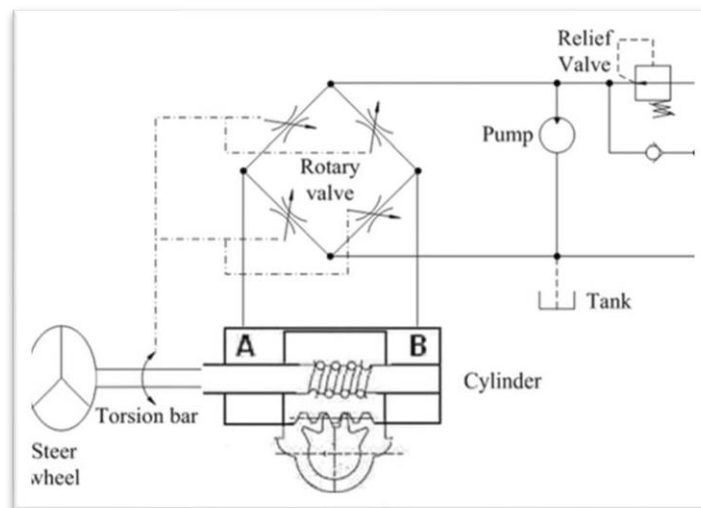
Fuente: (Enfísica, 2025)

2.2 Partes del sistema de dirección asistida hidráulica

La dirección asistida hidráulica utiliza fluidos a alta presión para asistir el movimiento del volante. El sistema de dirección asistida hidráulica convencional siempre incluye la bomba, la válvula de alivio, la válvula rotatoria, las líneas hidráulicas y el cilindro de dirección. Un esquema de un sistema HPS se muestra en la Figura 2.2. Cuando el volante permanece en la posición central, el área de la sección transversal del lado izquierdo es igual al lado derecho

de la válvula rotatoria, por lo que la presión de la cámara A es igual a la de la cámara B, por lo que no hay fuerza de asistencia que actúe sobre el pistón; cuando el volante gira a la izquierda o a la derecha, el área de la sección transversal de la válvula disminuye o aumenta, la presión de las cámaras A y B cambia correspondientemente, por lo que hay una fuerza de asistencia que actúa sobre el pistón en el cilindro para girar a la izquierda o a la derecha (Sun, 2010).

Figura 2.2: Esquema de un sistema de dirección hidráulico



Fuente: (Sun, 2010)

A continuación se presentan los componentes principales del sistema HPS:

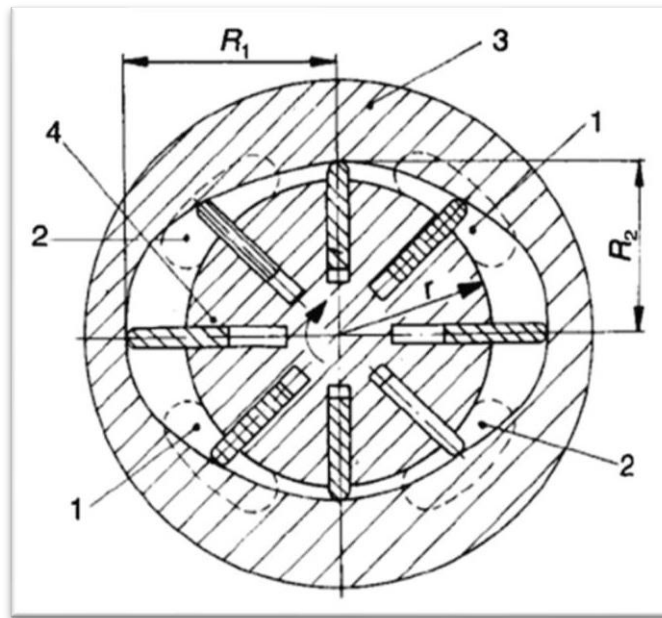
2.2.1 Bombas

- **Bomba de paletas**

El grupo funcional de la bomba consta básicamente de un rotor con alas móviles insertadas y un anillo de levas. El rotor gira en el anillo de levas, las alas lo tocan debido a las fuerzas centrífugas en el rotor ranurado. Se desarrollan cámaras separadas, cuyo volumen cambia al deslizarse por el anillo de levas. El volumen de aceite aspirado en cualquiera de las cámaras se comprime cuando la cámara se contrae, y sale a presión. Una bomba de paletas constantes está diseñada para dos carreras. Como se observa en la Figura 2.3, las fuerzas de compresión que se desarrollan en el rotor se compensan

mediante la disposición simétrica de dos riñones de entrada (1) y salida (2), la carga de apoyo se mantiene baja. El caudal volumétrico transportado aumenta proporcionalmente a las revoluciones de la bomba. El caudal volumétrico se controla mediante la válvula limitadora. El control del caudal volumétrico se basa en el principio de que un mayor caudal a través de la válvula limitadora genera una caída de presión más pronunciada en la válvula limitadora. El pasador (4) sigue al pistón (1), moviéndose con la diferencia de presión, debido a la pretensión del muelle (5). La sección transversal de flujo en la perforación del manguito (3) cambia, esto afecta a su vez a la diferencia de presión y, por lo tanto, al tamaño de la sección transversal de reflujo, liberada por el pistón (Hullmann, 2017).

Figura 2.3: Bomba de paletas



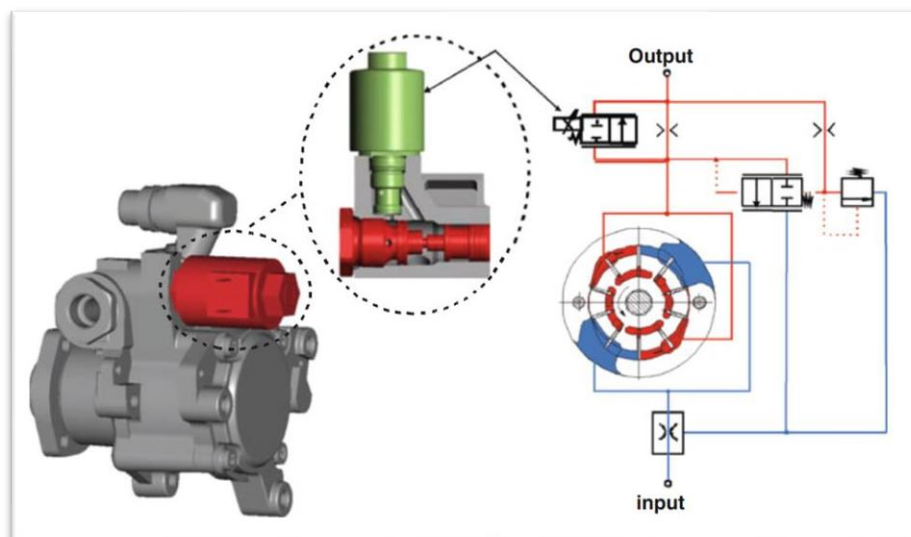
Fuente: (Hullmann, 2017)

- **Bombas de paletas con válvula de derivación para ahorrar energía**

Estos modelos de bombas son comercializados por diversos fabricantes, que utilizan marcas como ECO, EV2 (Figura 2.4) o KEEPS. El principio de estas bombas es reducir el consumo de energía disminuyendo la presión de circulación en el sistema de dirección cuando la dirección es pasiva, por ejemplo, al conducir en línea recta. En una dirección

de centro abierto, la presión de circulación surge del transporte permanente del volumen de aceite a través del sistema. Puede controlarse mediante las pérdidas de presión de las piezas que transportan aceite o mediante el caudal volumétrico actual. El caudal volumétrico circulante de este modelo de bomba se reduce considerablemente cuando se utiliza una válvula de derivación adecuada, de modo que disminuye la presión de circulación en el sistema. El caudal volumétrico limitado y el caudal volumétrico utilizado se transportan en esta bomba contra la presión de circulación actual, de ahí que se ahorre una cantidad considerable de energía para regímenes altos del motor/bomba y baja actividad de la dirección (por ejemplo, conducción en línea recta por autopista) (Hullmann, 2017).

Figura 2.4: Bomba de dirección con válvula de derivación (EV2)



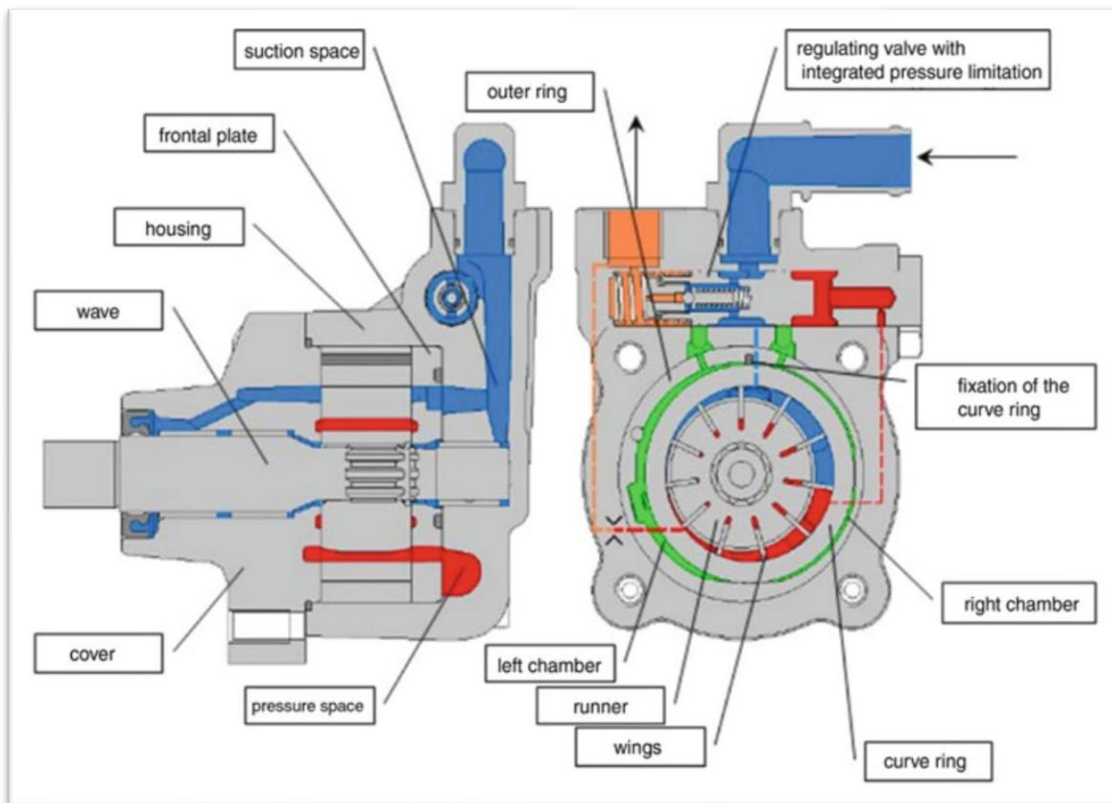
Fuente: (Hullmann, 2017)

- **Bomba variable**

Las bombas de paletas variables son un avance de las bombas de paletas clásicas. La bomba es capaz de generar sólo el caudal volumétrico necesario para el sistema de dirección, gracias a la función de capacidad variable de la bomba. De este modo, se evita la circulación interior de un caudal volumétrico en el área limitada de una bomba de paletas convencional. Las bombas variables son bombas de paletas de un solo recorrido.

Las cámaras de la bomba se dividen en cámara de aspiración y cámara de presión mediante una desviación excéntrica del anillo de levas, por medio de una balanza de presión. La desviación se diseña en función de la demanda, de modo que sólo se transporta el volumen de aceite realmente necesario. Cuando se alcanza el punto de funcionamiento en ralentí, la bomba variable transporta un caudal volumétrico constante. Un aumento del número de revoluciones de la bomba conduce a un aumento de la presión de la bomba que, a su vez, provoca un aumento de la presión en el anillo de levas a través de la válvula reguladora, lo que reduce la excentricidad. La capacidad geométrica de la bomba disminuye y se evita la sobreproducción de aceite a presión. Un descenso de las revoluciones de la bomba y un gradiente de presión descendente producen a su vez una mayor desviación del anillo de levas, la capacidad geométrica de la bomba vuelve a aumentar (Hullmann, 2017).

Figura 2.5: Vista en corte de una bomba variable

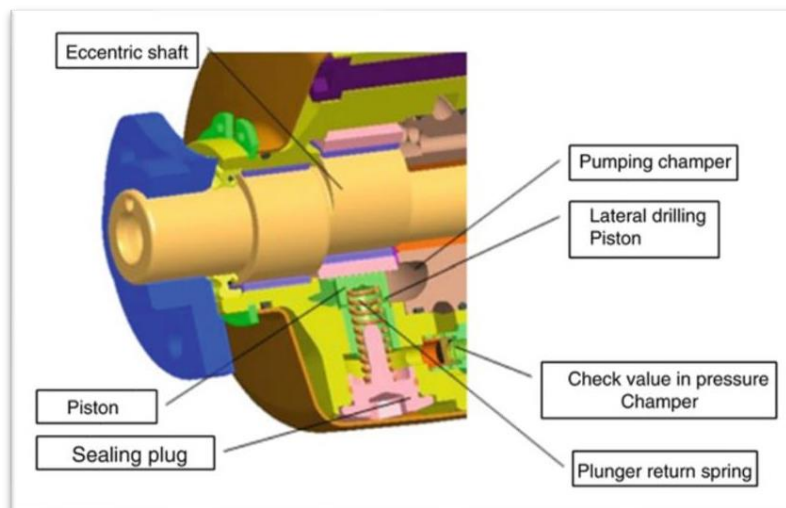


Fuente: (Hullmann, 2017)

- **Bomba de pistón radial**

La bomba de pistones radiales consta de elementos de bombeo individuales accionados por un eje excéntrico común. Los espacios del cilindro se llenan de aceite a través de perforaciones laterales en el pistón que conectan con la cámara de bombeo llena de aceite. En la carrera de transporte, estos taladros laterales se cierran en el borde inferior del cilindro respectivo, de modo que la presión se acumula durante el movimiento de carrera posterior. La ventaja de este principio es el control interno de la aspiración, es decir, el caudal volumétrico transportado permanece bastante constante en todo el rango de revoluciones de la bomba. Este control de la aspiración es el resultado del hecho de que un mayor número de revoluciones de la bomba reduce el tiempo de llenado de los espacios del cilindro. Esta reducción impide el llenado completo del espacio, el volumen transportado por carrera de la bomba disminuye al aumentar la velocidad. Por otra parte, el caudal volumétrico transportado permanece constante durante todo el intervalo de revoluciones de la bomba. Por lo tanto, a diferencia de una célula de paletas limitada, este tipo de bomba no requiere limitación de caudal volumétrico; por lo tanto, se evitan las pérdidas por limitación. La bomba de pistones radiales puede funcionar incluso a muy alta presión (200 bar), por lo que cubre un campo de aplicación más amplio que una bomba de paletas (Figura 2.6) (Hullmann, 2017).

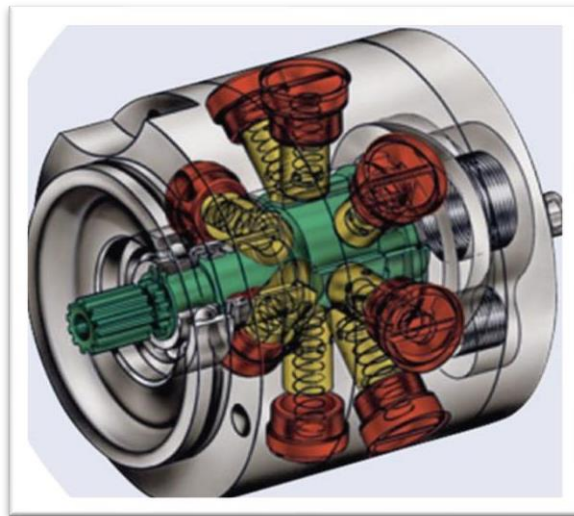
Figura 2.6: Elemento de bombeo de una bomba de pistones radiales



Fuente: (Hullmann, 2017)

La desventaja de una bomba de pistones radiales es su elevado precio, debido a la complejidad de su fabricación. Además, su acústica es muy inferior a la de la bomba de paletas. Se trata de un defecto del diseño, derivado principalmente de la fluctuación de la presión como resultado del número mucho menor de pistones (normalmente 7-8 pistones, según el tamaño de la bomba). Una bomba de paletas comparable con una capacidad de bombeo geométrica similar tiene al menos 11 alas, lo que produce 11 cámaras de compresión de desplazamiento (Figura 2.7) (Hullmann, 2017).

Figura 2.7: Bomba de pistones radiales



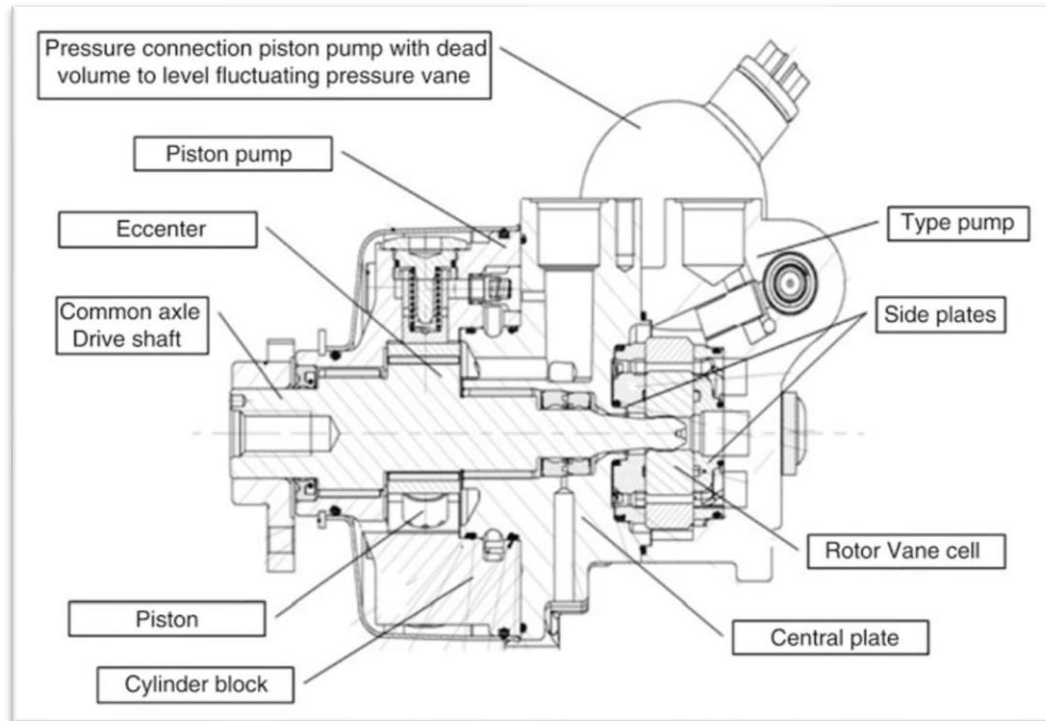
Fuente: (Hullmann, 2017)

- **Bomba tándem**

La bomba en tándem es una combinación de célula de paletas y bomba de pistones, que proporciona un suministro independiente de dos ciclos hidráulicos diferentes (por ejemplo, dirección asistida y sistema de estabilización de la rodadura) cuyas limitaciones con respecto a la presión del sistema pueden diferir. La mayoría de los sistemas de estabilización de la rodadura son sistemas de alta presión, con presiones de aproximadamente 180 bares, pero una bomba de paletas no puede hacerlos funcionar de forma económica. Sin embargo, la bomba de paletas es suficiente para la dirección, ya

que las presiones máximas accesibles del sistema de una bomba de paletas son de aproximadamente 150 bares (Hullmann, 2017).

Figura 2.8: Vista en corte de una bomba tándem



Fuente: (Hullmann, 2017)

2.2.2 Válvula de alivio (PRV)

La válvula de alivio es un componente vital que desempeña la importante función de proteger los sistemas hidráulicos contra la sobrepresión.

Esto se logra canalizando el caudal deseado de la bomba a través del circuito hidráulico y desviando el exceso de flujo de retorno a la entrada de la bomba. El caudal de la bomba se controla mediante un orificio variable y un controlador PID de bucle cerrado. El controlador PID modula continuamente el área del orificio en función de la diferencia entre el caudal medido y el caudal real del modelo de la bomba. Se utiliza una válvula de alivio de presión para mantener la presión máxima de funcionamiento dentro del límite de diseño seguro (Sawangikar, 2017).

La válvula de alivio de presión se puede describir mediante una relación estática entre la diferencia de presión entre los puertos de entrada y salida y el flujo resultante a través de la válvula. En la mayoría de los casos, este modelo simple es suficiente, ya que la velocidad de respuesta de una válvula de alivio suele ser mucho mayor que la de la carga accionada (Sun, 2010).

Figura 2.9: Válvula de alivio



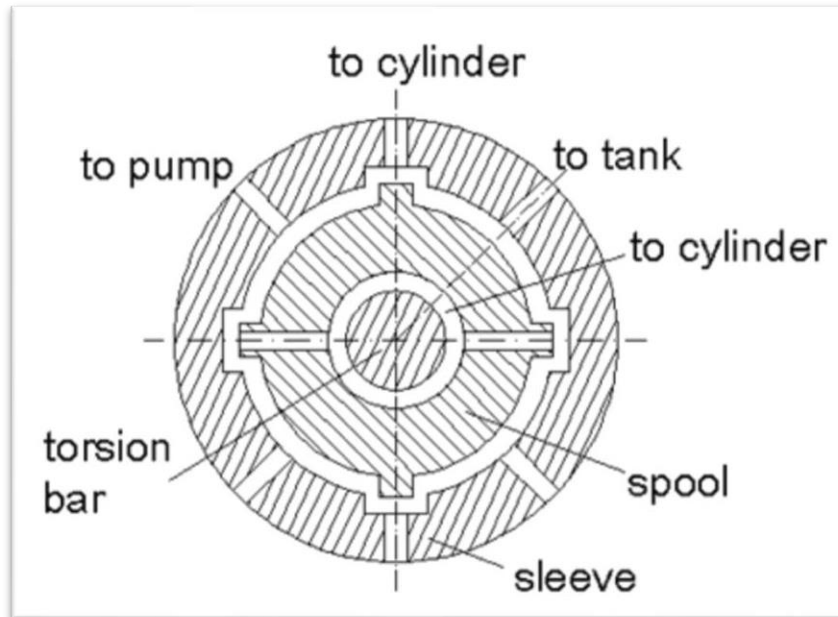
Fuente: (Morselli, 2019)

2.2.3 Válvula rotatoria

Como se muestra en la Figura 2.10 el carrete, el manguito y la barra de torsión son los componentes principales de la válvula rotatoria. El manguito está conectado con la barra de torsión y el carrete también está conectado con la barra de torsión en el otro lado, por lo que cuando la barra de torsión tuerce, hay un error de ángulo entre el manguito y el carrete. Hay ranuras axiales en el manguito y el carrete. Las ranuras en el manguito son más grandes que sus superficies de acoplamiento en el carrete. En una ranura de la válvula, hay dos orificios causados por el carrete y el manguito. Cuando se aplica un par de dirección, la barra de torsión tuerce y el carrete puede girar con respecto al manguito. Cuando el área de la sección

transversal de un orificio aumenta y el otro disminuye, lo que causa la diferencia de presión de salida en los dos lados de la válvula (Sun, 2010).

Figura 2.10: Válvula rotatoria



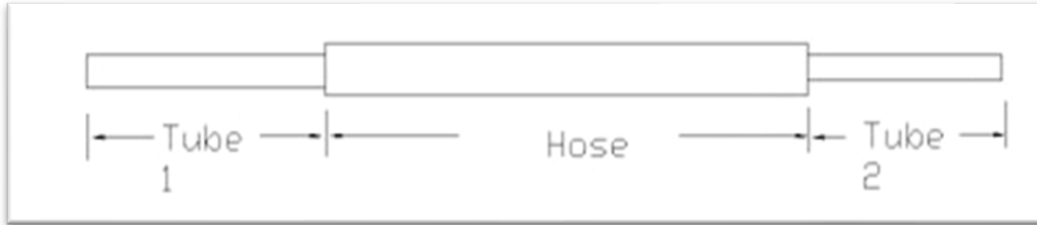
Fuente: (Sun, 2010)

La válvula mostrada en la Figura 2.10 tiene una configuración de “puente”, es decir de cuatro orificios variables.

2.2.4 Líneas hidráulicas

Los sistemas de dirección asistida hidráulica constan de varios tubos y mangueras que conectan la bomba, la válvula y el depósito. La línea de retorno de baja presión del sistema de dirección no afecta significativamente al sistema. Normalmente, la línea de suministro consta de tres elementos: un tubo de acero que conecta la bomba, un tubo que conecta la válvula de carrete y una manguera entre ellos, fabricada con malla metálica y caucho sintético. Se muestran como Tubo 1, Tubo 2 y Manguera, respectivamente, en la Figura 2.11. Los cálculos de la línea de suministro consideran la compresibilidad del aceite de dirección y la elasticidad de las mangueras y los tubos, esenciales para la dinámica hidráulica del sistema (Wang, 2005). Las líneas hidráulicas garantizan la transmisión eficiente del fluido hidráulico y mantienen la estabilidad del sistema.

Figura 2.11: Línea de suministro

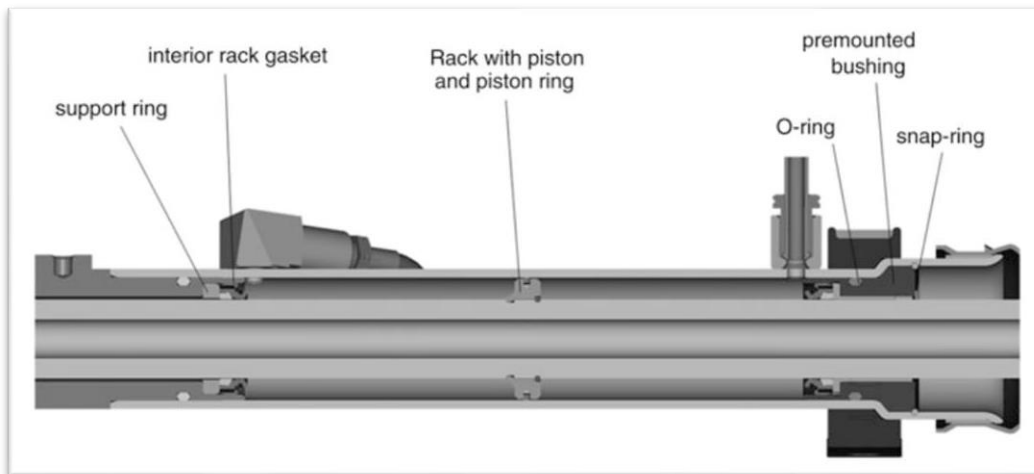


Fuente: (Wang, 2005)

2.2.5 Cilindro de dirección

El cilindro de una dirección asistida contiene todas las piezas para suministrar una potencia de asistencia por medios hidráulicos. Las piezas se muestran y etiquetan en la Figura 2.12. Además, el cilindro incluye uno o varios puntos de montaje exteriores para montaje a bordo. En la dirección asistida, el casquillo de la cremallera se coloca en la zona del cilindro para establecer una distancia muy amplia entre los dos puntos de apoyo de la dirección (Hullmann, 2017).

Figura 2.12: Montaje tubo y cremallera



Fuente: (Hullmann, 2017)

CAPÍTULO 3

3. DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DEL BANCO DIDÁCTICO

La estructura debe resistir las fuerzas ejercidas por los elementos que conforman el sistema de dirección hidráulica para permitir un funcionamiento adecuado y seguro para la manipulación de estudiantes y docentes, por esta razón el diseño debe ser creado y simulado mediante la utilización de un software CAD (Diseño Asistido por Computadora) y CAE (Ingeniería Asistida por Computadora) para que de esta manera se pueda conseguir la resistencia y seguridad deseada, además la selección de materiales y dimensiones deben ser las correctas para asegurar su correcta operación.

3.1 Diseño y simulación de esfuerzos y deformaciones

Para la elaboración de la estructura se debe tener en cuenta que la ergonomía y los materiales son factores clave para que se pueda observar el modo en el que opera el sistema de dirección hidráulica de tal manera que estudiantes y docentes tengan la posibilidad de comprobar cómo funciona dicho sistema de forma segura y en el caso de presentar alguna falla en el futuro sea de fácil acceso a sus componentes para que se dé el mantenimiento pertinente.

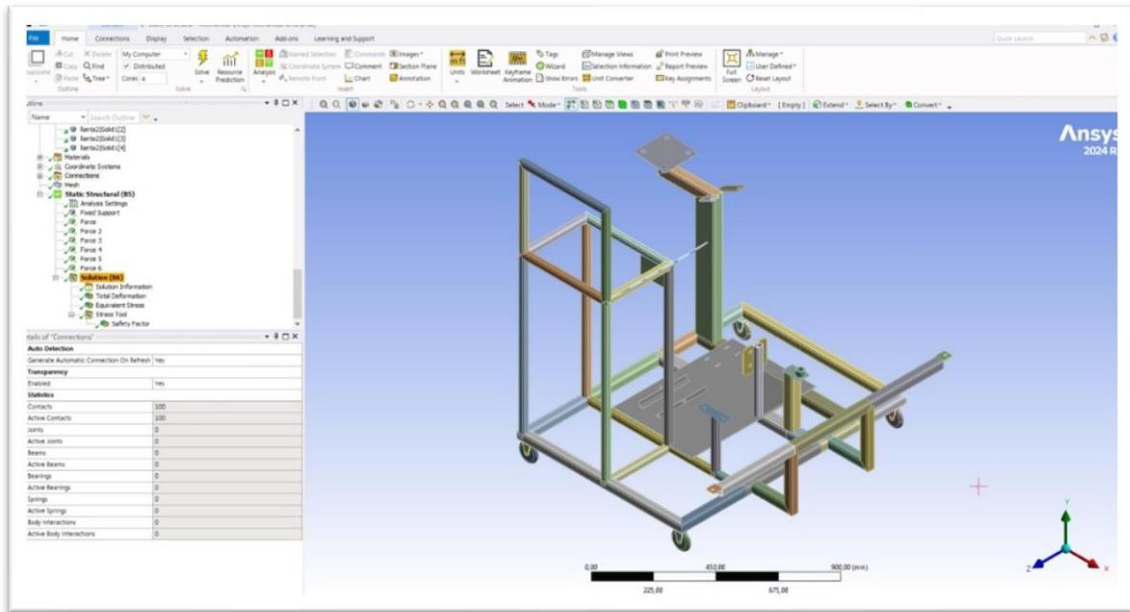
La misión de la estructura para el banco de pruebas es aguantar todos los componentes del HPS tales como el volante, la columna de dirección, articulación de la columna de dirección, caja o cremallera de dirección, bomba de dirección asistida, líneas hidráulicas, depósito de expansión del líquido hidráulico y los medidores de presión y temperatura del sistema.

El diseño está dado de tal manera que una persona pueda operarlo estando parado y pueda verificar sin mayor esfuerzo el funcionamiento del sistema.

El volante y columna de dirección están ubicados longitudinalmente y la caja de la dirección en cambio de manera transversal, tal y como se encuentra dispuestos en un vehículo categoría M1 como se puede ver en la Figura 3.1.

y pueda interpretarlo. En la Figura 3.2 se puede ver la estructura cargada en el software utilizado con el material acero ASTM A36 para las barras del marco y también para las platinas que sirven de bases.

Figura 3.2: Dibujo de la estructura del banco didáctico en Ansys



Fuente: Erick Enriquez y Pablo Tuza

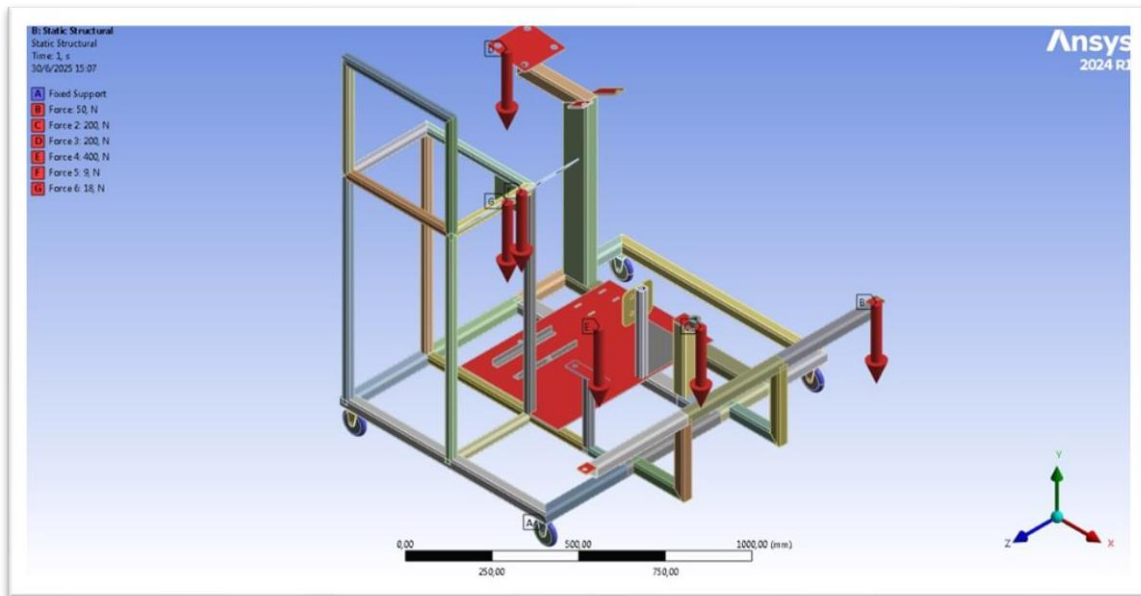
Después de esto se empezó aplicando los esfuerzos que tendrá que soportar el banco de pruebas.

La fuerza total fijada para la simulación de la estructura se encuentra dividida en cada uno de los puntos donde se sujetan los elementos del sistema de dirección y los componentes de monitoreo del mismo. La fuerza total es:

$$F_{\text{total}} = 877 \text{ N}$$

En la Figura 3.3 se puede ver cómo están distribuidas.

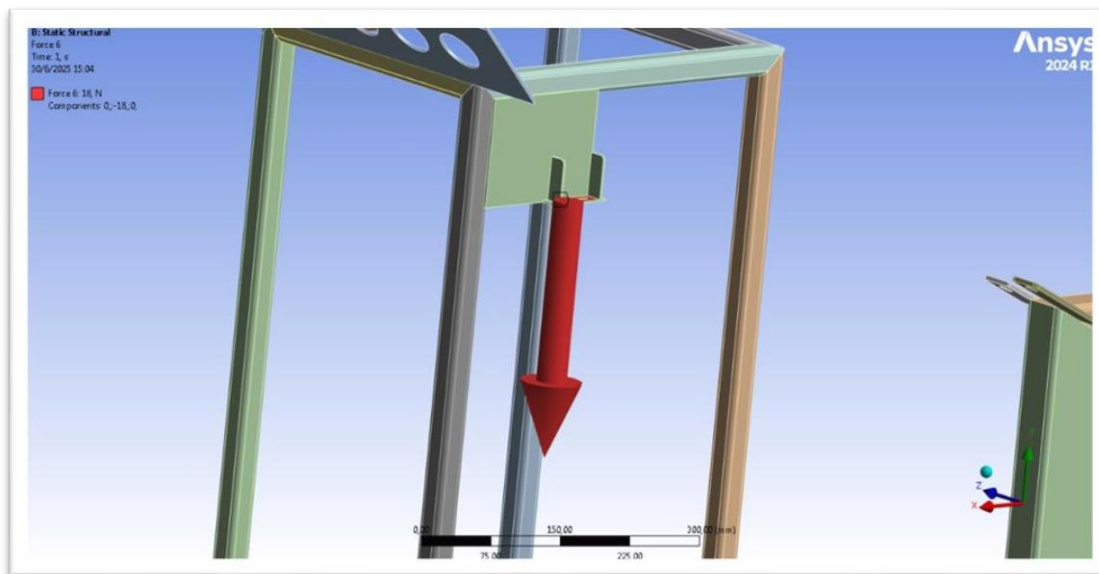
Figura 3.3: Distribución de las fuerzas aplicadas



Fuente: Erick Enriquez y Pablo Tuza

En la Figura 3.4 se observa que la fuerza fijada en el lugar donde se encuentra el depósito del líquido hidráulico es de $F = 18 \text{ N}$.

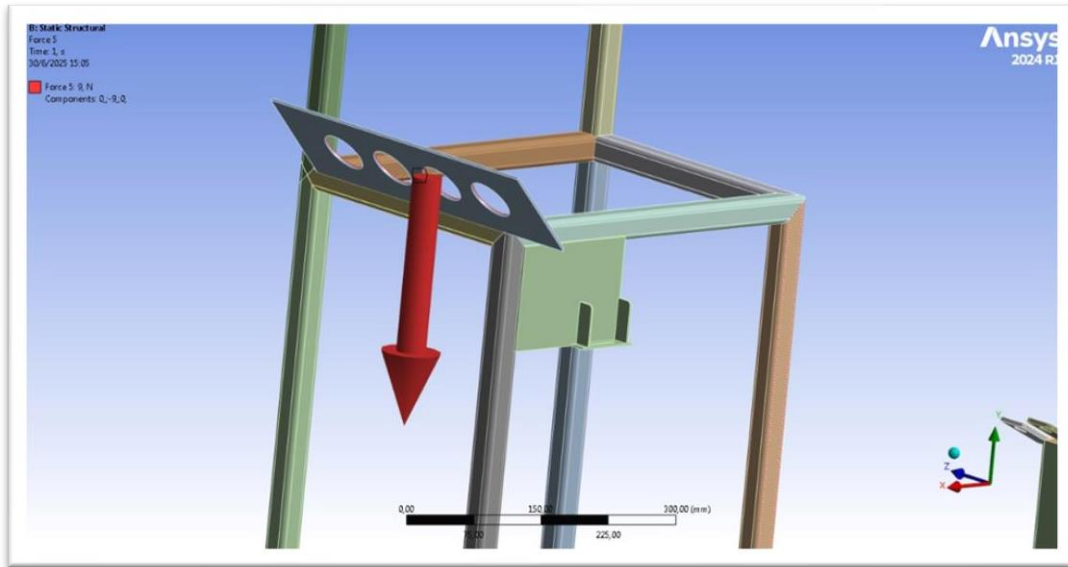
Figura 3.4: Fuerza del depósito



Fuente: Erick Enriquez y Pablo Tuza

Los componentes de monitoreo, los medidores de presión y temperatura, en conjunto con $F = 9 \text{ N}$.

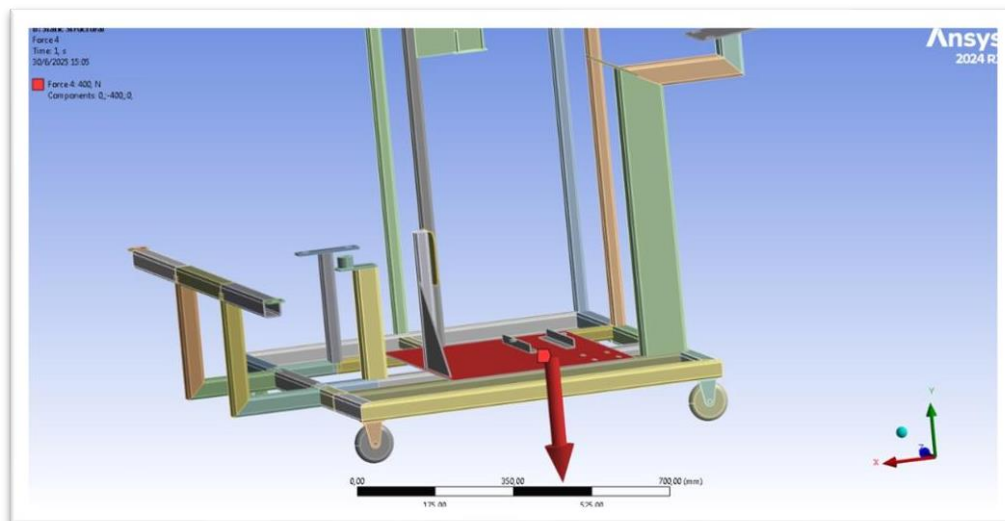
Figura 3.5: Fuerza de los medidores de presión y temperatura



Fuente: Erick Enriquez y Pablo Tuza

El motor eléctrico que simula al motor de combustión interna (MCI) y la batería de 12 V para los medidores de presión y temperatura como se ve en la Figura 3.6 es de $F = 400 \text{ N}$.

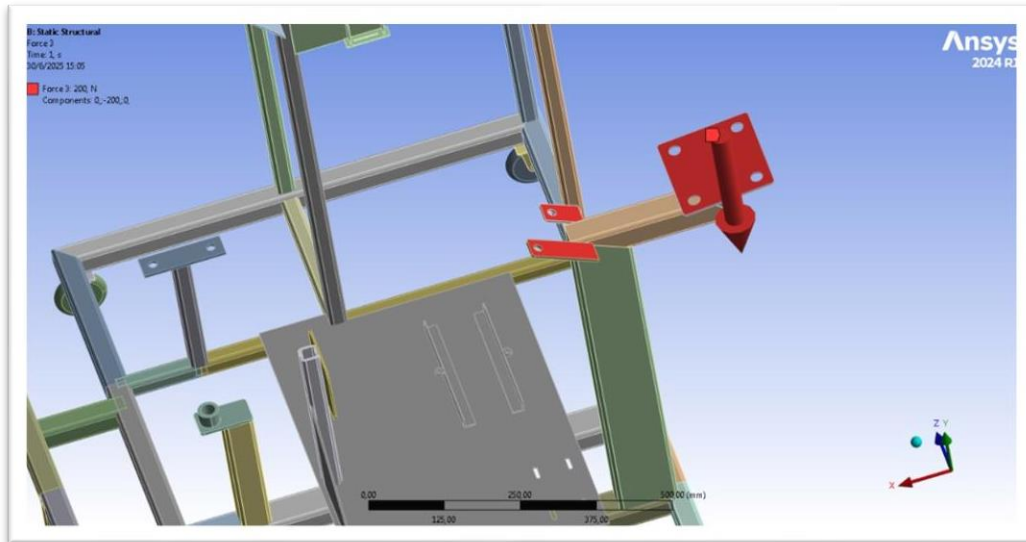
Figura 3.6: Fuerza del motor eléctrico y batería 12 V



Fuente: Erick Enriquez y Pablo Tuza

La columna de dirección y la articulación de la columna de dirección generan $F = 200\text{ N}$ en donde se apoyan como se muestra en la Figura 3.7.

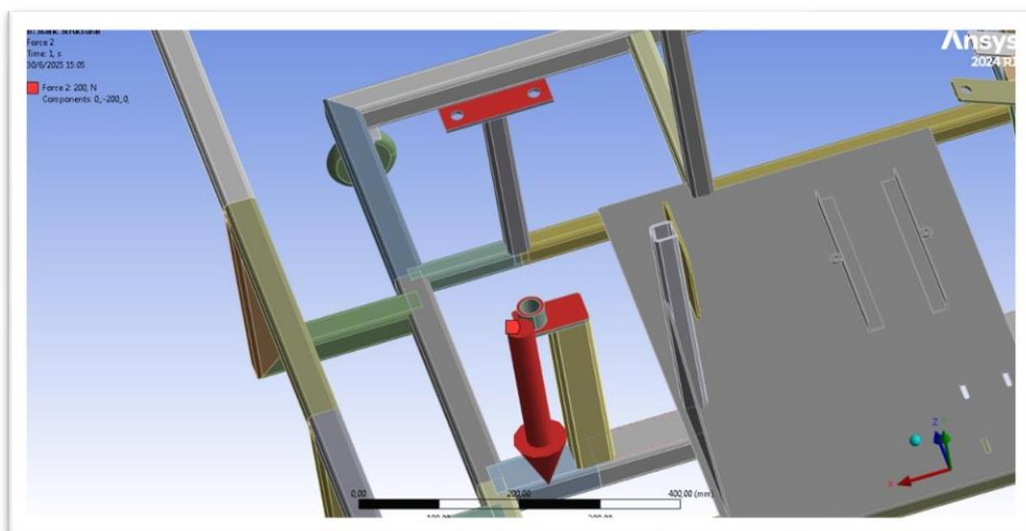
Figura 3.7: Fuerza de la columna de dirección y la articulación de la columna



Fuente: Erick Enriquez y Pablo Tuza

En la Figura 3.8 se puede ver la fuerza ejercida por la caja de dirección hidráulica con $F = 200\text{ N}$.

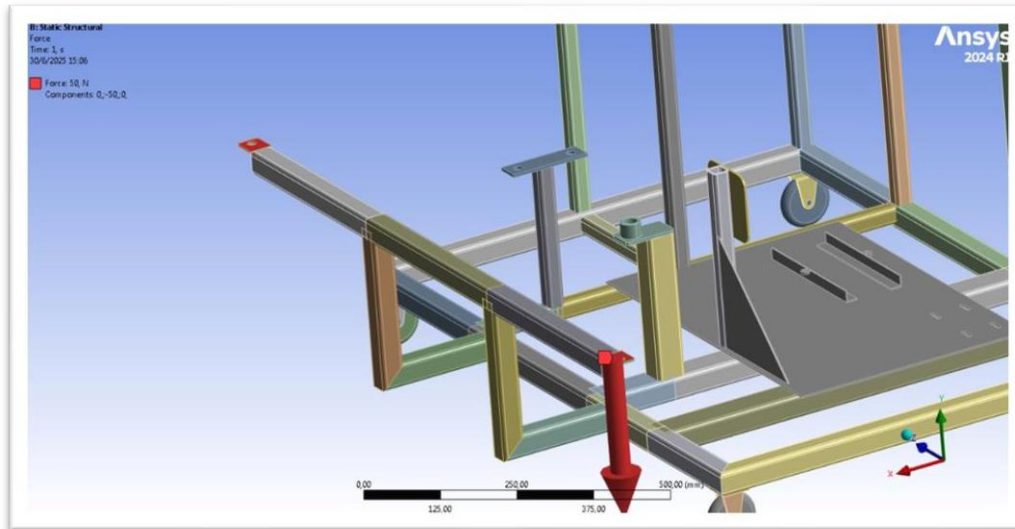
Figura 3.8: Fuerza de la caja de dirección hidráulica



Fuente: Erick Enriquez y Pablo Tuza

Por último la fuerza ejercida por los neumáticos es de $F = 50 \text{ N}$ tal y como se puede ver en la Figura 3.9.

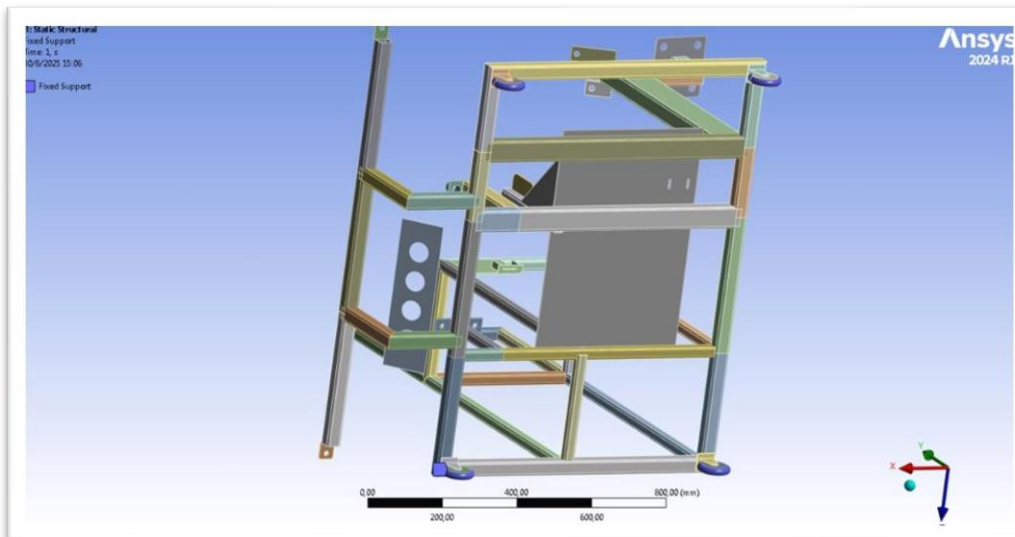
Figura 3.9: Fuerza de los neumáticos



Fuente: Erick Enriquez y Pablo Tuza

A continuación, se muestra en la Figura 3.10 la reacción de las ruedas de la estructura con el piso.

Figura 3.10: Reacción de las ruedas



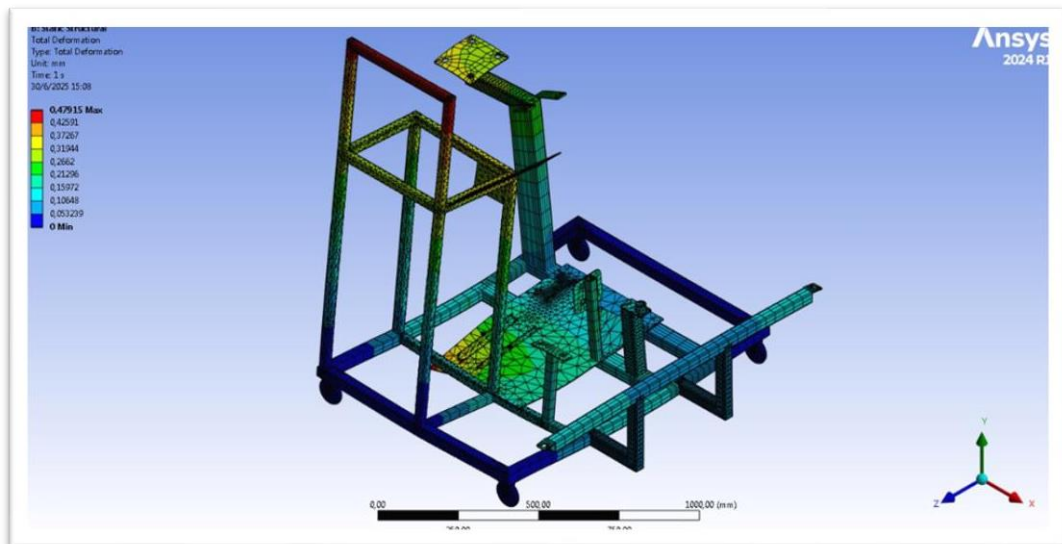
Fuente: Erick Enriquez y Pablo Tuza

Una vez fijadas todas las fuerzas que los elementos del sistema de dirección van a estar ejerciendo sobre la estructura se procede a realizar las soluciones que nos interesan para que el diseño sea seguro y en este caso se manda a resolver las opciones de la Deformación Total, el Esfuerzo Equivalente de Von Mises y el Factor de Seguridad para ver cómo se comporta el banco didáctico.

- **Deformación Total:**

Al mandar a resolver esta opción, el programa nos indica que con las fuerzas aplicadas la deformación máxima es de 0,479 mm y es la zona de color rojo de la Figura 3.11.

Figura 3.11: Deformación Total

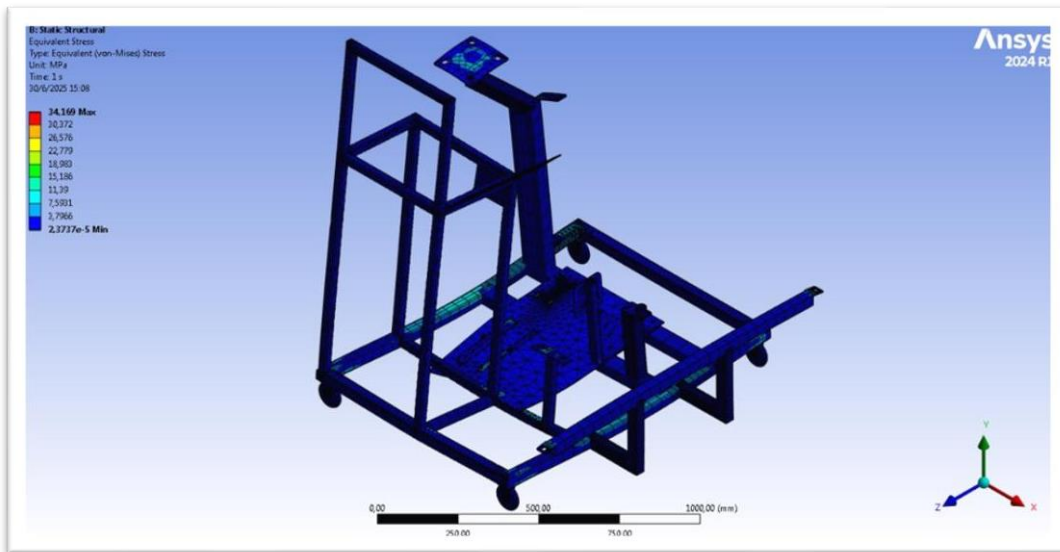


Fuente: Erick Enriquez y Pablo Tuza

- **Esfuerzo Equivalente de Von Mises:**

El resultado que nos muestra el programa en la Figura 3.12 para el Esfuerzo de Von Mises es de 34,17 MPa.

Figura 3.12: Esfuerzo Equivalente de Von Mises

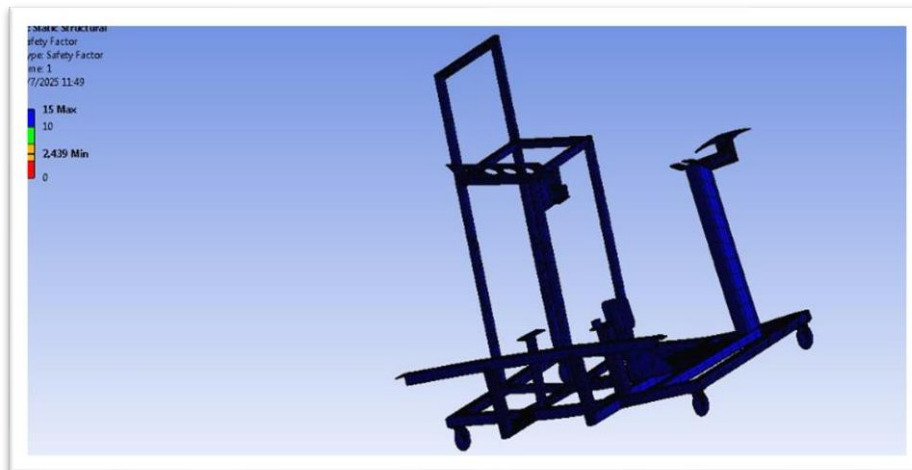


Fuente: Erick Enriquez y Pablo Tuza

- **Factor de Seguridad:**

El FS entregado por el software es un mínimo de 2,439. Este factor se distribuye para toda la estructura como se observa en la Figura 3.13.

Figura 3.13: Factor de Seguridad



Fuente: Erick Enriquez y Pablo Tuza

Con los resultados obtenidos de la simulación se verifica que la deformación máxima tiene un valor de 0,479 mm y al no tener valores preestablecidos nos guiamos por el siguiente concepto: “Solo un conocimiento profundo de la aplicación del elemento de máquina se

puede indicar un valor de deformación aceptable. Pero se disponen de algunos lineamientos para tener un punto de partida.

Deflexión debido a flexión.

- Partes de máquinas en general: 0,0005 a 0,003 pulgada/pulgada de longitud de viga.
- Presión moderada: 0,00001 a 0,0005 pulgada/pulgada de longitud de viga.
- Alta presión: 0,000001 a 0,00001 pulgada/pulgada de longitud de viga” (Mott, 2006).

Para este diseño se elige la opción de partes de máquinas en general la cual debe cumplir con la siguiente ecuación.

$$0,0005 \frac{\text{pulgada}}{\text{pulgada}} \leq \frac{y}{L} \leq 0,003 \frac{\text{pulgada}}{\text{pulgada}}$$

Donde:

y = Deformación máxima = 0,479 mm = 0,0188 pulgadas.

L = Longitud donde se encuentra la máxima deformación, en este caso en la base de la columna de dirección = 600 mm = 23,62 pulgadas

$$0,0005 \frac{\text{pulgada}}{\text{pulgada}} \leq \frac{0,0188}{23,62} \leq 0,003 \frac{\text{pulgada}}{\text{pulgada}}$$

$$0,0005 \frac{\text{pulgada}}{\text{pulgada}} \leq 0,00079 \leq 0,003 \frac{\text{pulgada}}{\text{pulgada}}$$

Así comprobamos que la deformación dada por el programa se encuentra dentro de los rangos permisibles.

Para analizar el resultado entregado para el esfuerzo de Von Mises debemos tomar en cuenta su límite de fluencia, el cual nos indicará si se deforma permanentemente o no la estructura. Se puede verificar en la Figura 3.12 que el esfuerzo calculado es $S_y = 34,17$ MPa y ya que el límite de fluencia del material (Acero ASTM A36 o Acero Dulce, Tabla 3.1 y Tabla 3.2) es $S_y = 250$ MPa, el cual se encuentra dentro una tolerancia admisible.

Por otra parte, estos valores también son usados para determinar el Factor de Seguridad con un valor de 2,439 el cual es el adecuado debido a que la maqueta es de uso didáctico y los esfuerzos a los que estará sometida la estructura no son considerables.

En la Tabla 3.1 se muestra un resumen de los esfuerzos aplicados.

Tabla 3.1: Esfuerzos calculados

RESUMEN DE ESFUERZOS CALCULADOS	
Deformación máxima	0,479 mm
Esfuerzo Equivalente de Von Mises	34,17 MPa
Factor de Seguridad (FS)	2,439

Fuente: Erick Enriquez y Pablo Tuza

3.1.1 Acero ASTM A36

En la Tabla 3.3 y Tabla 3.3 se pueden observar las propiedades mecánicas del material escogido proporcionadas por el software de simulación Ansys.

Tabla 3.2: Propiedades del material ASTM A36 BAR, para las barras

PROPIEDADES	VALOR
Densidad	7,8e-06 kg/mm ³
ELASTICIDAD ISOTRÓPICA	Lineal
Derivado de	Módulo de Young y Relación de Poisson
Módulo de Young	2e+0,5 MPa
Relación de Poisson	0,26000
Módulo volumétrico	1,3889e+0,5 MPa
Módulo de corte	79365 MPa
Resistencia última de tracción	400,00 MPa
Límite elástico a la tracción	250,00 MPa

Fuente: Erick Enriquez y Pablo Tuza

Tabla 3.3: Propiedades del material ASTM A36 PLATE, para las platinas

PROPIEDADES	VALOR
Densidad	7,85e-06 kg/mm ³
ELASTICIDAD ISOTRÓPICA	Lineal
Derivado de	Módulo de Young y Relación de Poisson
Módulo de Young	2e+0,5 MPa
Relación de Poisson	0,26000
Módulo volumétrico	1,3889e+0,5 MPa
Módulo de corte	79365 MPa
Resistencia última de tracción	400,00 MPa
Límite elástico a la tracción	250,00 MPa

Fuente: Erick Enriquez y Pablo Tuza

La elección del acero ASTM A36 se debe a que es el principal material utilizado en la fabricación de productos y piezas para la construcción general y la ingeniería mecánica (Márquez-Herrera, 2022). El acero ASTM A36 presenta buenas propiedades mecánicas, incluyendo resistencia a la tracción y dureza; la resistencia a la tracción puede variar significativamente según el proceso de soldadura y el tipo de electrodo utilizado. Por ejemplo, se observan resistencias a la tracción de 355,504 MPa a 485,152 MPa con diferentes electrodos e intensidades de corriente (Rahangmetan, 2020). Además, las propiedades mecánicas post-combustión muestran que el acero mantiene su integridad hasta 600 °C y solo cuando se supera esta temperatura hay cambios relevantes en su resistencia a la tracción y ductilidad (Sajid, 2018). Por todas estas características se considera que es el material adecuado para la fabricación de la estructura usando una soldadura MIG (Metal Inert Gas) o GMAW (Gas Metal Arc Welding).

3.1.2 Soldaduras eléctricas

- **MIG**

La soldadura por arco con hilo electrodo fusible y protección gaseosa, es un tipo de soldadura que utiliza como material de aportación un hilo electrodo continuo y fusible, que se alimenta

automáticamente, a través de la pistola de soldadura, a una velocidad regulable. El baño de fusión está completamente cubierto por un chorro de gas protector (argón, anhídrido carbónico o CO₂, helio), que también se suministra a través de la pistola (Giachino, 1988). La resistencia a la tracción de este acero dulce soldado mediante soldadura MIG varía con la corriente de soldadura. Por ejemplo, una corriente de 150 A produce una resistencia a la tracción de 354,92 MPa, mientras que una corriente de 90 A resulta en una resistencia a la tracción de 278 MPa, las corrientes de soldadura más altas generalmente mejoran la resistencia a la tracción por lo que es recomendable usar una corriente a partir de los 150 A para aumentar su capacidad de resistencia (Drastiawati, 2024). Por lo tanto, la soldadura MIG es un proceso eficaz para unir acero ASTM A36 ofreciendo alta resistencia a la tracción y dureza.

- **SMAW**

La soldadura con electrodo revestido es un proceso en el que el calor se genera mediante un arco eléctrico entre el metal base y un electrodo consumible recubierto con un fundente químico, el cual estabiliza el arco, protege la zona de soldadura de la atmósfera y forma una escoria protectora (Herramientas, 2013).

Esta técnica es adecuada para la construcción de la estructura del banco didáctico, la cual será realizada principalmente con tubo cuadrado de acero estructural ASTM A36, ya que este tipo de acero es compatible con los electrodos usados en esta soldadura, permitiendo una buena penetración y fusión que resulta en uniones fuertes y duraderas.

CAPÍTULO 4

4. CONSTRUCCIÓN DEL BANCO DIDÁCTICO DEL SISTEMA DE DIRECCIÓN HIDRÁULICA

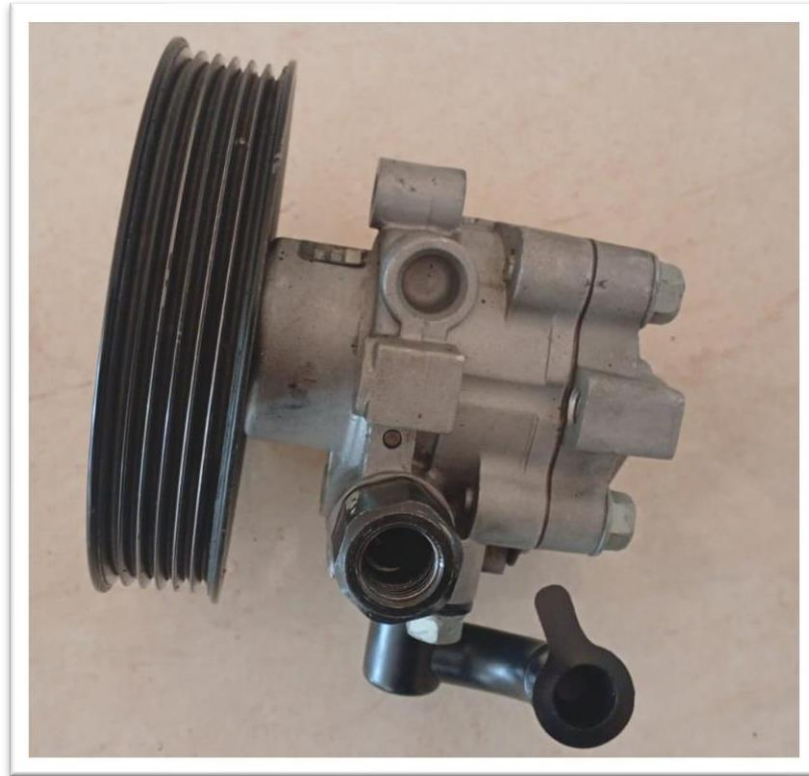
4.1 Adquisición de los componentes del sistema de dirección hidráulico

El objetivo final del presente proyecto es aportar un complemento al aprendizaje de los alumnos durante las clases que se imparten en la carrera de Ingeniería Automotriz, esto les permitirá comprender de mejor manera el funcionamiento de los sistemas de dirección totalmente hidráulicos para vehículos livianos al interactuar directamente con los elementos que conforman al sistema y de esa forma confirmar lo aprendido de la teoría. Por otra parte, es importante resaltar que implementar nuevos bancos didácticos y tener todas las herramientas y equipos necesarios para las actividades que se deben realizar durante las prácticas mejorará la calidad de la enseñanza y les facilitará a los profesores exponer su clase haciéndola más dinámica y activa generando mayor interés y una mejora académica en los estudiantes.

El sistema de dirección usado para este fin pertenece al SUV (Sport Utility Vehicle) de la marca Great Wall Motors modelo Haval H5 Elite motor 2.4 a gasolina debido a que las marcas de automóviles chinos han ido ganando más espacio dentro de la industria automotriz ecuatoriana ya que incluso algunos de los modelos usados por el gobierno son de la misma empresa china. Seguidamente se expone la obtención de las piezas y el proceso de fabricación del banco de pruebas.

- 1. Obtener la bomba de dirección asistida que se ocupa en el proyecto.**

Figura 4.1: Bomba de dirección asistida



Fuente: Erick Enriquez y Pablo Tuza

2. Adquisición de la caja de dirección tipo piñón y cremallera.

Figura 4.2: Caja de dirección tipo piñón y cremallera



Fuente: Erick Enriquez y Pablo Tuza

3. Obtención de la columna de dirección.

Figura 4.3: Columna de dirección



Fuente: Erick Enriquez y Pablo Tuza

4. Seguido de eso se consigue la articulación de la columna de dirección que conecta a la columna con la caja de dirección.

Figura 4.4: Articulación de la columna de dirección



Fuente: Erick Enriquez y Pablo Tuza

5. Después se obtuvo el depósito de expansión y el volante.

Figura 4.5: Depósito de expansión para líquido hidráulico



Fuente: Erick Enriquez y Pablo Tuza

Figura 4.6: Volante de dirección



Fuente: Erick Enriquez y Pablo Tuza

6. Se adquirió un motor eléctrico para simular la fuerza del motor de combustión interna, para esta situación se optó por un motor monofásico de 110/220 voltios (V) con una potencia de $\frac{1}{2}$ caballos de fuerza (hp) o 373 vatios (W). También los medidores de presión y temperatura para verificar la operación del sistema.

Figura 4.7: Motor eléctrico monofásico



Fuente: Erick Enriquez y Pablo Tuza

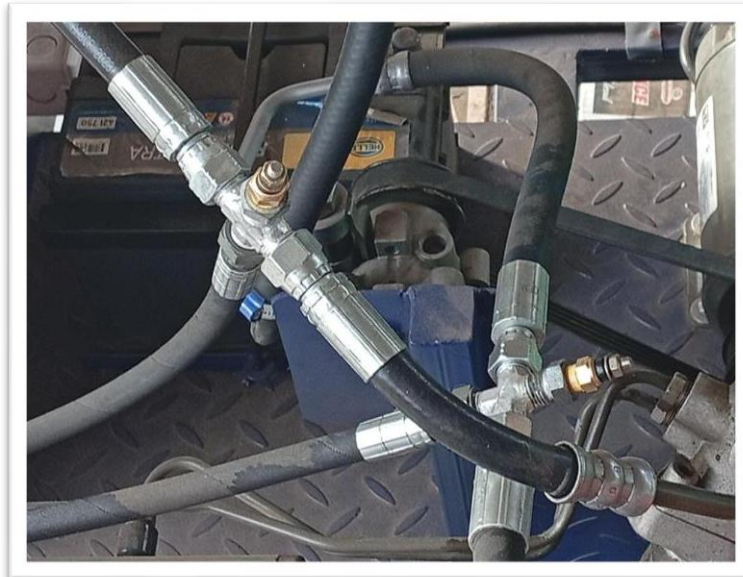
7. Las cañerías y mangueras que conectan todo el circuito del sistema de dirección HPS y los acoples hidráulicos para los medidores de presión y temperatura.

Figura 4.8: Líneas hidráulicas



Fuente: Erick Enriquez y Pablo Tuza

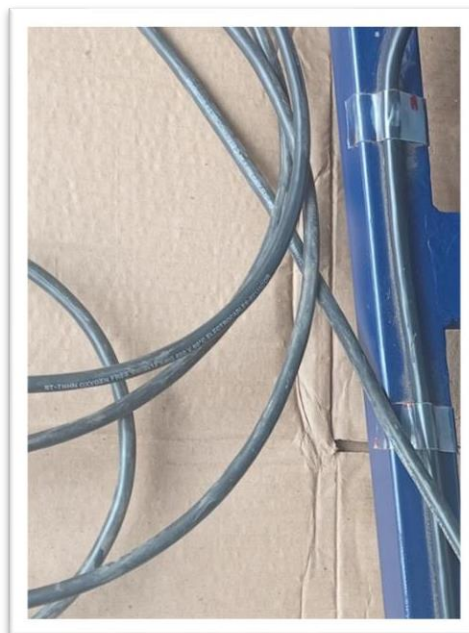
Figura 4.9: Acoples hidráulicos



Fuente: Erick Enriquez y Pablo Tuza

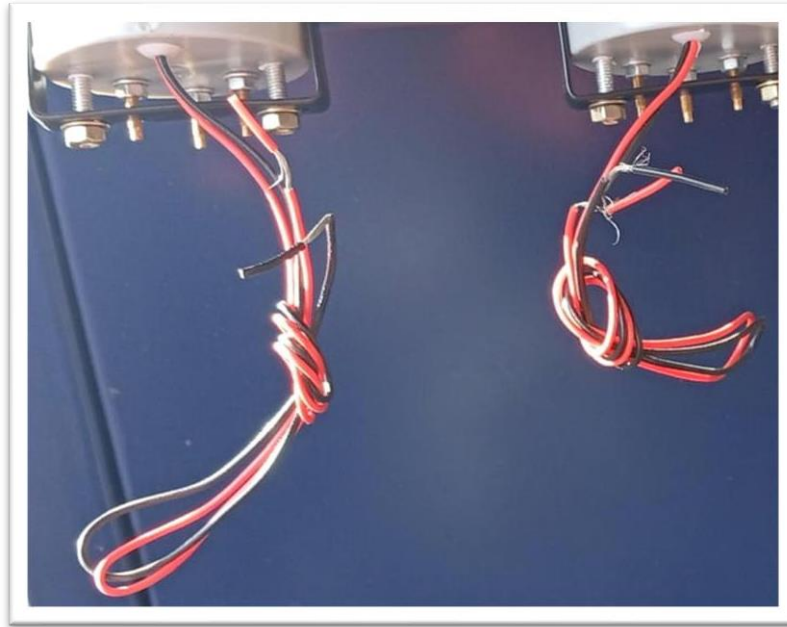
8. Se consiguieron los materiales para la conexión del motor eléctrico y los medidores de presión y temperatura. Es decir, se adquirió cables tipo M12 y multifiliares, tomacorriente, interruptor, enchufe y una batería de 12 V.

Figura 4.10: Cables M12



Fuente: Erick Enriquez y Pablo Tuza

Figura 4.11: Cables multifilares



Fuente: Erick Enriquez y Pablo Tuza

Figura 4.12: Tomacorriente y enchufe



Fuente: Erick Enriquez y Pablo Tuza

Figura 4.13: Batería 12 V



Fuente: Erick Enriquez y Pablo Tuza

Figura 4.14: Medidores de presión y medidores de temperatura



Fuente: Erick Enriquez y Pablo Tuza

9. Para la movilidad del banco de pruebas se utilizaron ruedas de tipo garrucha industriales de 3" por su resistencia y durabilidad. Están diseñadas para aguantar cargas, desde los 200 kg hasta los 1200 kg, y movimientos frecuentes dentro de entornos industriales ya que son fabricada con acero, poliuretano y nylon, estas ruedas

pueden girar 360 grados facilitando así su maniobrabilidad. Se optó por escoger dos ruedas con frenos y dos sin freno.

Figura 4.15: Garrucha industrial con freno de 3”



Fuente: Erick Enriquez y Pablo Tuza

Figura 4.16: Garrucha industrial sin freno de 3”



Fuente: Erick Enriquez y Pablo Tuza

4.2 Materiales y herramientas

4.2.1 Materiales

Tabla 4.1: Materiales utilizados

ELEMENTO	MATERIAL	CANTIDAD
1	Tubo cuadrado de 4 cm x 4cm	1
2	Tubo cuadrado de 3 cm x 3 cm	2
3	Tubo cuadrado de 5 cm x 5cm	1
4	Tubo rectangular de 6 cm x 4 cm	1
5	Tubo rectangular de 5 cm x 10 cm	1
6	Angulo en L 2 cm x 2cm	1
7	Perno M12 con tuerca y rodela	1
8	Polea de 5 caminos de 5''	1
9	Polea de 3 caminos de 2''	1
10	Plancha de acero de 3 mm de espesor	1
11	Pernos, tuercas y arandelas	62
12	Pintura azul mate	1 litro
13	Pintura de fondo unipleimer	1 litro
14	Thinner	2 galones
15	Ruedas de 3'' con freno	2
16	Ruedas de 3''	2
17	Alambre suelda MIG 0,9 mm	15
18	Bisagras de 2''	2
19	Picaporte 2''	1
20	Banda de 3 caminos	1
21	Ruedas	2

Fuente: Erick Enriquez y Pablo Tuza

4.2.2 Herramientas

Tabla 4.2: Herramientas utilizadas

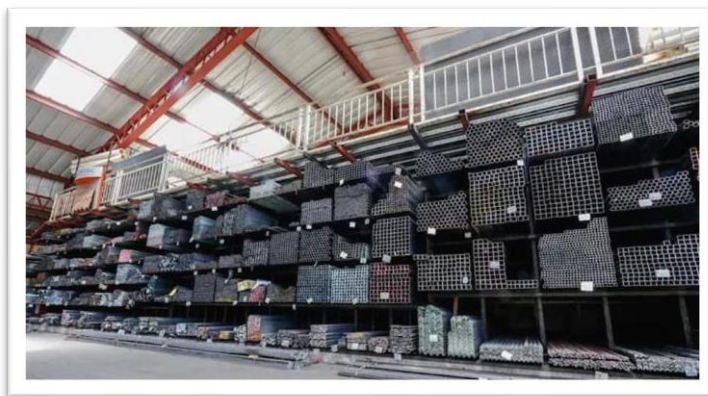
ELEMENTO	HERRAMIENTA	CANTIDAD
1	Amoladora con disco de (corte, desbaste, pulidora)	1
2	Pistola de pintar HVLP	2
3	Compresor	1
4	Soldadora MIG	1
5	Martillo	1
6	Escuadra	1
7	Flexómetro	1
8	Extensión eléctrica	1
9	Taladro	1
10	Brocas	3

Fuente: Erick Enriquez y Pablo Tuza

4.3 Fabricación de la estructura del banco de pruebas

- Para empezar con la construcción se consiguió en primer lugar el material en Proviaceros Tumbaco.

Figura 4.17: Bodega de Proviaceros Tumbaco



Fuente: Erick Enriquez y Pablo Tuza

- Después con una amoladora con disco de corte se seccionan los tubos para el marco de la estructura según las medidas del modelo creado en Inventor para evitar malgastar material.

Figura 4.18: Corte de tubos para la estructura



Fuente: Erick Enriquez y Pablo Tuza

- Al terminar de cortar el material, con la soldadora MIG se inicia con la unión de los mismos usando las escuadras para que el nivel sea el más estable, los primeros tubos en soldarse son para la base del banco de pruebas.

Figura 4.19: Soldadura de la base de la estructura



Fuente: Erick Enriquez y Pablo Tuza

- Se continúa soldando el resto de la estructura, como los apoyos de la cremallera, la base de la columna de dirección y el soporte para los neumáticos dirección verificando que las piezas encajen perfectamente.

Figura 4.20: Soldadura de apoyos de neumáticos, cremallera y columna de dirección



Fuente: Erick Enriquez y Pablo Tuza

- Luego se suelda las platinas que servirán de soporte para los neumáticos que simulan el giro de las ruedas del vehículo.

Figura 4.21: Soldadura de platinas



Fuente: Erick Enriquez y Pablo Tuza

- Se unen los tubos para el marco de la cajonera la cual está dividida en tres partes.

Figura 4.22: Soldadura de la cajonera



Fuente: Erick Enriquez y Pablo Tuza

- A continuación, se coloca la platina que fungirá de base para la bomba de dirección asistida, la batería de 12 V y el motor eléctrico monofásico.

Figura 4.23: Soldadura de platina base de bomba de dirección, batería de 12V y motor eléctrico



Fuente: Erick Enriquez y Pablo Tuza

- Montaje de componentes principales para comprobar las medidas y la estabilidad de la estructura.

Figura 4.24: Montaje de elementos para comprobación de medidas y estabilidad



Fuente: Erick Enriquez y Pablo Tuza

- Se utiliza una platina para el soporte donde se ubican los medidores de presión y temperatura. Mediante la soldadora se realizan los orificios donde serán encajados.

Figura 4.25: Soldadura soporte de medidores de presión y temperatura



Fuente: Erick Enriquez y Pablo Tuza

- Se procede a soldar la platina base de los medidores en la estructura de la cajonera y además se sueldan las láminas que sirven para rellenar la estructura.

Figura 4.26: Soldadura de base de medidores y láminas de relleno



Fuente: Erick Enriquez y Pablo Tuza

- Se suelda la base para el depósito para el líquido hidráulico que también está asegurado con un perno en la parte posterior.

Figura 4.27: Soldadura de base de depósito de líquido hidráulico



Fuente: Erick Enriquez y Pablo Tuza

- Finalmente se une a la base de la estructura cuatro ruedas para facilitar su desplazamiento.

Figura 4.28: Soldadura de ruedas para movilidad



Fuente: Erick Enriquez y Pablo Tuza

- Se desmontan todos los componentes de la estructura para comenzar a pulir y lijar con la amoladora y un disco de pulida.

Figura 4.29: Lijada y pulida de la estructura



Fuente: Erick Enriquez y Pablo Tuza

- Una vez lijado y pulida la estructura se adquiere la pintura azul mate y negra brillante, tñner o thinner y el fondo uniprimer.

Figura 4.30: Pintura, tñner y uniprimer



Fuente: Erick Enriquez y Pablo Tuza

- Se aplica el fondo de uniprimer a toda la estructura para una mejor adherencia de la pintura al metal.

Figura 4.31: Fondo de uniprimer



Fuente: Erick Enriquez y Pablo Tuza

- Se usa la pintura azul mate para el acabado final de la estructura.

Figura 4.32: Pintado de la estructura



Fuente: Erick Enriquez y Pablo Tuza

- Con la pintura negra brillante se pintan las platinas que simulan las articulaciones de la dirección.

Figura 4.33: Pintado de platinas



Fuente: Erick Enriquez y Pablo Tuza

- Se procede con el montaje de los componentes principales del sistema de dirección en la estructura.

Figura 4.34: Montaje de componentes del sistema de dirección



Fuente: Erick Enriquez y Pablo Tuza

- Una vez colocadas los elementos del sistema siguen los elementos que conectan a todos los componentes del sistema de dirección y se empieza con poner una banda de tres canales para la transmisión de la fuerza desde el motor eléctrico a la bomba de dirección asistida.

Figura 4.35: Colocación de banda de tres canales



Fuente: Erick Enriquez y Pablo Tuza

- Seguidamente se instalaron las líneas hidráulicas que llevan el ATF por todo el sistema de dirección.

Figura 4.36: Instalación de líneas hidráulicas



Fuente: Erick Enriquez y Pablo Tuza

- También se instalan los medidores de presión y temperatura para altas y bajas presiones que además están alimentadas por la batería de 12 V.

Figura 4.37: Instalación de medidores de presión y temperatura



Fuente: Erick Enriquez y Pablo Tuza

- Se realiza la instalación eléctrica que será controlado con un interruptor simple, para el motor eléctrico una conexión de 110 V y para los medidores la conexión será a la batería de 12 V.

Figura 4.38: Instalaciones eléctricas



Fuente: Erick Enriquez y Pablo Tuza

- Para terminar, se coloca el ATF al nivel que indica el depósito para hacer una comprobación de su funcionamiento girando el volante de dirección.

Figura 4.39: Completar depósito del líquido hidráulico



Fuente: Erick Enriquez y Pablo Tuza

- Banco de pruebas fabricado.

Figura 4.40: Banco didáctico de un sistema de dirección hidráulica de vehículos tipo M1



Fuente: Erick Enriquez y Pablo Tuza

CAPÍTULO 5

5. MANUAL DE INSTRUCCIONES PARA EL USO DEL BANCO

DIDÁCTICO

5.1 Manual de uso y cuidado

Para garantizar la seguridad durante el desarrollo de la práctica en el laboratorio, es imprescindible el uso obligatorio del equipo de protección personal (EPP) al utilizar el banco didáctico.

- Portar mandil de trabajo de la carrera.
- Utilizar calzado de seguridad con puntera de acero.
- Emplear guantes diseñados para protección.
- Usar gafas de seguridad para proteger los ojos.
- Llevar malla para el cabello si se tiene el cabello largo.
- Abstenerse de portar joyas u objetos que puedan quedar enredados en los elementos de movimiento.

5.1.1 Precauciones Eléctricas

Figura 5.1: Precaución eléctrica



Alto riesgo eléctrico, Fuente: Erick Enríquez y Pablo Tuza

- Verificar que el banco cuente con una fuente de alimentación eléctrica adecuada, en este caso de 110 voltios para el funcionamiento del motor eléctrico.

- Evitar el contacto con componentes energizados si se tienen las manos mojadas.
- Comprobar que los cables y conexiones no presenten daños o fallas.

5.1.2 Precauciones de seguridad

Figura 5.2: Precaución



Precauciones de seguridad, Fuente: Erick Enríquez y Pablo Tuza

- El área de trabajo debe permanecer ordenada y libre de herramientas sobre el banco, para prevenir que algún objeto sea atrapado por componentes en movimiento.
- Antes de efectuar cualquier tipo de intervención, como el ajuste de bandas, es necesario cortar el suministro eléctrico del equipo.
- Se debe evitar que se concentren personas alrededor del banco, para reducir el riesgo de empujones que puedan derivar en accidentes o inconvenientes entre los presentes.

5.1.3 Guía de uso

- Desplace el banco al lugar donde se realizará la actividad, asegurándose de que cuente con alimentación eléctrica adecuada (110 V) y que el piso esté nivelado, una vez ubicado, active los frenos de seguridad de las dos ruedas que cuentan con dicho sistema para evitar desplazamientos involuntarios.

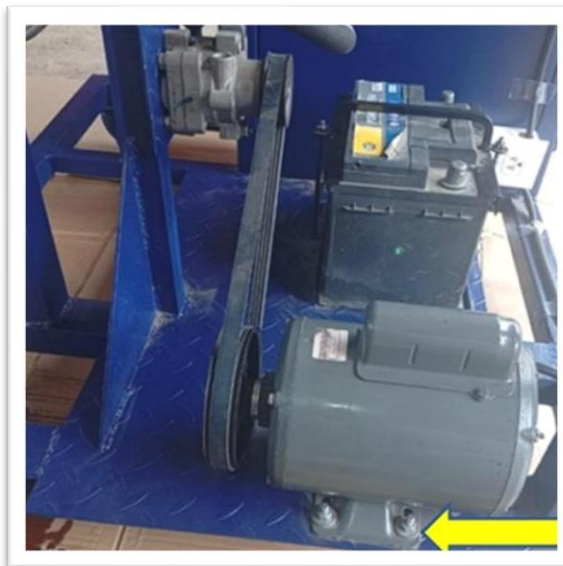
Figura 5.3: Banco didáctico de dirección hidráulica



Ubicación del banco en un lugar con superficie plana, Fuente: Erick Enríquez y Pablo Tuza

- Realice el tensado de la banda ajustando los pernos que sujetan el motor a la estructura verificando que la posición del motor eléctrico sea la correcta, con el objetivo de evitar que se desalinee o se salga de su trayectoria.

Figura 5.4: Tensado de las bandas



Regulación de la banda, Fuente: Erick Enríquez y Pablo Tuza

- Compruebe que el banco y sus componentes estén correctamente ajustados y procedemos a conectar la extensión a la toma de corriente del banco didáctico y luego a la toma de corriente (110 V) para que finalmente presione el botón de encendido y encienda el equipo.

Figura 5.5: Conexión eléctrica



Instalación eléctrica, Fuente: Erick Enríquez y Pablo Tuza

- Observe el sistema de dirección hidráulica en funcionamiento, considerando las mediciones de presión y temperatura del aceite hidráulico registradas en los manómetros.

Figura 5.6: Funcionamiento



Demostración de funcionamiento, Fuente: Erick Enríquez y Pablo Tuza

- Luego de terminar el proceso de pruebas en el banco, se puede apagar el motor eléctrico usando el breker y después se debe desenchufar la fuente de energía para completar el procedimiento.

Figura 5.7: Enchufe eléctrico



Interruptor, Fuente: Erick Enríquez y Pablo Tuza

5.1.4 Mantenimiento y cuidado

- Limpieza: Con regularidad debe mantener el área de trabajo limpia para evitar la acumulación de residuos, comúnmente grasa o aceite.
- Inspección visual: Observar frecuentemente si existen posibles fugas, desgastes o daños y si existe alguna avería sustituya las piezas defectuosas lo más pronto posible.
- Calibración: En este banco, el único ajuste necesario es el tensado correcto de la banda de distribución, asegurándose que esté bien templada.
- Registro de mantenimiento: Llevar un control escrito de todas las tareas de mantenimiento realizadas en el banco de pruebas.

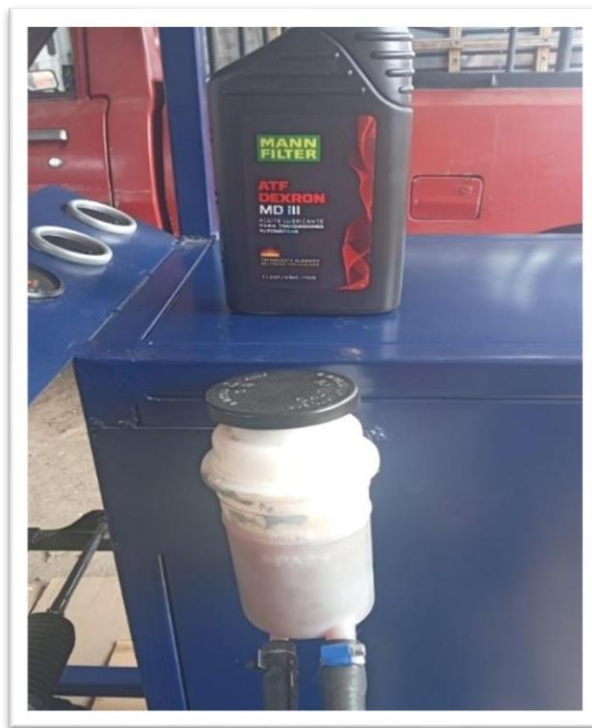
5.1.5 Mantenimiento Diario

- Realizar la limpieza del banco tras cada uso para evitar la acumulación de residuos y suciedad.
- Verificar visualmente todas las conexiones y partes del equipo.

5.1.6 Mantenimiento Periódico

- Comprobar que la batería tenga los 12 voltios necesarios para que los manómetros de temperatura y luces funcionen correctamente.
- Inspeccionar que el nivel de aceite sea el adecuado para evitar daños por falta de lubricación.

Figura 5.8: Nivel de aceite hidráulico completo



Lubricación antes del uso, Fuente: Erick Enríquez y Pablo Tuza

5.1.7 Almacenamiento

En caso de que el banco permanezca sin uso por un tiempo prolongado, es aconsejable cortar el suministro eléctrico como medida de seguridad y pérdida de consumos innecesarios.

Figura 5.10: Dimensiones



Dimensiones de elementos, Fuente: Erick Enríquez y Pablo Tuza

5.2.3 Tratamiento anticorrosión

Aplicación de un recubrimiento protector de fondo anticorrosivo tipo Uniprimer para prevenir la oxidación de las superficies metálicas, seguido del uso de pintura epóxica que ayuda brindar una mayor resistencia mecánica, durabilidad y acabado profesional.

Figura 5.11: Tratamiento anticorrosivo



Anticorrosión, Fuente: Erick Enríquez y Pablo Tuza

5.2.4 Bases y anclajes

Construcción de bases reforzadas que garanticen un soporte firme y anclajes sólidos, utilizando soldaduras de calidad (MIG) para asegurar la estabilidad estructural de los componentes del sistema de dirección hidráulica.

Figura 5.12: Soportes



Bases, Fuente: Erick Enríquez y Pablo Tuza

5.2.5 Aislamiento de vibraciones

Implementación de bases aislantes de caucho o bujes para disminuir las vibraciones y el ruido, mejorando la estabilidad y el confort durante el funcionamiento del sistema.

Figura 5.13: Bujes



Absorción de vibración, Fuente: Erick Enríquez y Pablo Tuza

5.2.6 Señalización y protección

Disposición de señalización clara y sistemas de protección para evitar el contacto accidental y prevenir posibles accidentes.

Figura 5.14: Señalización



Señaléticas de seguridad, Fuente: Erick Enríquez y Pablo Tuza

5.2.7 Cableado y conexiones

Instalación del cableado eléctrico adecuado para suministrar energía al motor, con el fin de activar la bomba hidráulica y, a su vez, permitir el funcionamiento completo del sistema de dirección al ser accionado mediante el volante.

Figura 5.15: Conexiones



Instalación eléctrica, Fuente: Erick Enríquez y Pablo Tuza

5.2.8 Paneles de operación

Implementación de paneles de operación equipados con breaker e interruptor, diseñados para controlar de forma segura el flujo de corriente eléctrica y permitir el encendido y apagado eficiente del banco didáctico y sus componentes durante su funcionamiento.

Figura 5.16: Interruptor



Paneles de operación eléctrica, Fuente: Erick Enríquez y Pablo Tuza

5.3 Peso y dimensiones de los componentes de dirección

- Peso de la cremallera de dirección: 6 kg

Figura 5.17: Peso de la cremallera de dirección



Solidez de la cremallera, Fuente: Erick Enríquez y Pablo Tuza

- Peso de la bomba de dirección hidráulica: 5 kg

Figura 5.18: Peso de la bomba de dirección hidráulica



Solidez de la bomba, Fuente: Erick Enríquez y Pablo Tuza

- Peso de la columna de dirección y volante: 15 kg

Figura 5.19: Peso de la columna de dirección y volante



Solidez de la columna y volante, Fuente: Erick Enríquez y Pablo Tuza

- Peso batería de 12 V: 10 kg

Figura 5.20: Peso de la batería de 12 V



Peso de la batería, Fuente: Erick Enríquez y Pablo Tuza

- Peso del motor eléctrico: 18 kg

Figura 5.21: Peso del motor eléctrico



Peso del motor, Fuente: Erick Enríquez y Pablo Tuza

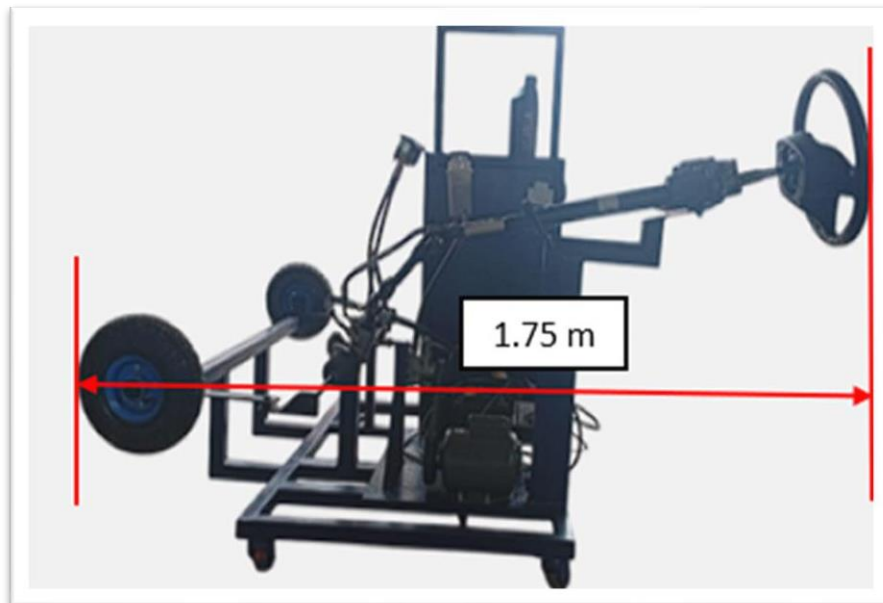
Figura 5.22: Ancho de la estructura del banco



Medida del ancho del banco, Fuente: Erick Enríquez y Pablo Tuza

- Largo de la estructura del banco: 1,75 m

Figura 5.23: Largo de la estructura del banco



Dimensión del banco, Fuente: Erick Enríquez y Pablo Tuza

- Alto de la estructura del banco: 1.32 m

Figura 5.24: Alto de la estructura del banco



Altura del banco, Fuente: Erick Enríquez y Pablo Tuza

5.4 Cuidados a la hora de manipulación del banco

- Evite colocar los dedos cerca de la banda al encender el motor, ya que puede atraparlos y causar accidentes graves.
- Asegure siempre las dos ruedas del banco con los frenos de seguridad antes de encenderlo, para evitar movimientos inesperados y mantenerlo estable en un solo lugar.
- Cumpla estrictamente con las señalizaciones y rótulos de seguridad presentes en el área.
- Manténgase alejado del banco de dirección hidráulica y de sus componentes durante su funcionamiento.
- Conecte la extensión a una fuente de alimentación de corriente alterna (110 V) y enchufe el banco antes de proceder con el encendido.

CONCLUSIONES

- La recopilación de la información y el análisis de la misma acerca del sistema de dirección hidráulico nos ayudó a entender el funcionamiento, el rendimiento y el papel que cumple dentro de la seguridad activa del automóvil.
- El banco de pruebas permite observar claramente el modo de funcionamiento de cada uno de los componentes, así como las presiones y temperaturas de trabajo óptimas del sistema asegurando así la comprensión de los estudiantes acerca de este sistema. Esto también permitirá comparar el sistema de dirección hidráulica con otros sistemas ya existentes y nuevos mecanismos, debido a que el HPS se sigue tomando en cuenta al momento de fabricar vehículos de categoría M1 por su costo y simplicidad.
- El tipo de material elegido para la fabricación de la estructura es el adecuado para soportar los esfuerzos a los que será sometido el banco de pruebas, en esta situación el acero dulce o ASTM A36, por su excelente resistencia, ductilidad y costo es el conveniente por sus diversas aplicaciones industriales.
- El diseño de la estructura mediante un software del tipo CAD y otro tipo CAE nos ayudó a escoger las dimensiones y material que mejor se ajustan a nuestras necesidades ya que estos se complementan y así alcanzar la seguridad y resistencia deseada.
- La creación de un manual de instrucciones de uso es fundamental para el operador para no cometer errores que pueden ocasionar daños al operario o al banco de pruebas.

RECOMENDACIONES

- Seguir las instrucciones de uso y usar el equipo de protección personal para la operación del banco de pruebas y así evitar accidentes.
- Hacer el mantenimiento preventivo de los componentes que tienden a desgastarse más debido a su modo de trabajo y de esa manera alargar la vida útil de sus componentes.
- No operar sin supervisión ya que el banco cuenta con conexiones eléctricas y conexiones de alta presión y temperatura que puede causar daños si se manipulan incorrectamente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abhiteja, P. K. (2019). Design, simulation of steering system for a go kart vehicle. En *In AIP Conference Proceedings* (págs. Vol. 2200, No. 1). AIP Publishing.
- Choi, H. y. (2024). Diseño del controlador de retroalimentación de dirección de un sistema de dirección por cable mediante el modelo de admitancia. *Revista Internacional de Tecnología Automotriz*, 25 (3), 565-574.
- Drastiawati, N. S. (2024). Review of MIG and TIG welding current variation of low-carbon steel materials based on tensile strength. *E3S Web of Conferences* (págs. (Vol. 513, p. 02014)). EDP Sciences.
- Enfísica. (01 de Junio de 2025). *Enfísica.com*. Obtenido de Curso de Física. ¿Qué dice el principio de Pascal? | Teoría y Ejercicios: https://enfísica.com/hidrostatica/que-dice-el-principio-de-pascal/#1_Que_es_el_Principio_de_Pascal
- Giachino, J. W. (1988). *Welding Skills and Practices*. Chicago: American Technical Society.
- Herramientas, D. M. (2013). ¿Qué es la soldadura SMAW? *De Máquinas y Herramientas*. Obtenido de <https://www.demaquinasyherramientas.com/soldadura/soldadura-smaw-que-es-y-procedimiento>
- Hullmann, J. J. (2017). Mechanical and Hydraulic Gears. En *Steering Handbook* (págs. 249-337).
- Jo, H. C. (2024). *RESEARCH ON VIRTUAL STEERING SOUND IN PARKING MODE*. Amsterdam, Netherlands: ICSV30.
- Kamble, N. S. (2003). Virtual Prototype of Rack and Pinion Steering Gear Meshing. *SAE Technical Paper*, No. 2003-28-0007.
- Kuebler, E. E. (2012). Electric power steering systems: Market requirements and application range with special focus on column-EPS. En *In Proceedings of the FISITA 2012 World Automotive Congress: Volume 10: Chassis Systems and Integration Technology* (págs. pp. 267-279). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Liu, Q. G. (2024). Model-free autonomous control of four-wheel steering using artificial flow guidance. *Vehicle system dynamics*, 62(6), 1565-1586.

- Márquez-Herrera, A. &.-P. (2022). Corrosion resistance evaluation of boron-carbon coating on ASTM A-36 steel. *Revista mexicana de física*, 68(1), 0-0.
- Morselli, S. G. (2019). Dynamics of pilot operated pressure relief valves subjected to fast hydraulic transient. *In AIP Conference Proceedings* (págs. Vol. 2191, No. 1, p. 020116). Bolonia, Italia: AIP Publishing LLC.
- Mott, R. L. (2006). En *Diseño de elementos de máquinas* (pág. 777). México: Editorial Pearson Education.
- Park, H. S. (2025). Development of a Path Tracker Based on a 4WS Vehicle for Low-Speed Automated Driving Systems. *Applied Sciences*, (2076-3417), 15(6).
- Perdana, M. A. (2024). Estimating the Assist Map of Electro-Hydraulic Power Steering System for an Electric Microbus. *In 2024 10th International Conference on Wireless and Telematics (ICWT)* (págs. pp. 1-6). IEEE.
- Rahama, O. A. (2011). Development of a Hydraulic Trainer Bench for Educational Purposes. *AMA-Agricultural Mechanization in Asia Africa and Latin America*, 42(4), 62.
- Rahangmetan, K. A. (2020). Effect variations and types of Smaw welding electrodes on A36 steel to tensile test. *Journal of Physics: Conference Series*, (Vol. 1569, No. 3, p. 032052).
- Reinelt, W. &. (2005). OBSERVER BASED SENSOR MONITORING IN AN ACTIVE FRONT STEERING SYSTEM SING EXPLICIT SENSOR FAILURE MODELLING. *IFAC Proceedings*, Volumes, 38(1), 222-227.
- Sajid, H. U. (2018). Influence of stress concentration and cooling methods on post-fire mechanical behavior of ASTM A36 steels. *Construction and Building Materials*, 186, 920-945.
- Sawangikar, S. V. (2017). A Novel Technique to Establish Various Important Characteristic to Analyze Complete Hydraulic Power Steering System using Model Based Design Approach. *SAE Technical Paper*, No. 2017-26-0259.
- Sean, S. K. (2022). Fatigue analysis of steering rack and pinion system. *In Engineering Technology International Conference (ETIC 2022)* (págs. Vol. 2022, pp. 136-141). IET.

- Shevate, H. S. (2021). Experimental analysis of steering system moan noise. *SAE Technical Paper*, No. 2021-26-0307.
- Sobczyk, A. &. (2019). Hydraulic systems safety by reducing operation and maintenance mistakes. *System Safety: Human-Technical Facility-Environment*, 700-707.
- Song, J. C. (2023). Teaching System of Hydraulic Transmission Combined with Virtual Reality Technology. *Information*, 14(3), 147.
- Sun, Y. C. (2010). Multi-domain Modeling and Simulation of Hydraulic Power Steering System Based on Modelica. *SAE Technical Paper*, No. 2010-01-0271.
- Vacca, A. &. (2021). *Hydraulic fluid power: Fundamentals, applications, and circuit design*. John Wiley & Sons.
- von Linsingen, I. &. (2011). *Fundamentals of hydraulic systems and components. Handbook of Hydraulic Fluid Technology, 1*. New York: CRC Press Taylor & Francis Group.
- Wang, M. Z. (2005). Sensitivity of key parameters to dynamics of hydraulic power steering systems. *SAE Technical Paper*, No. 2005-01-2389.
- Wong, T. (2001). Hydraulic power steering system design and optimization simulation. *SAE Technical Paper*, No. 2001-01-0479.
- Yilmaz, Ö. A. (2022). Investigation of the relationship between vibration signals due to oil impurity and cavitation bubbles in hydraulic pumps. *Electronics*, 11(10), 1549.
- Zhao, W. Z. (2019). Energy analysis and optimization design of vehicle electro-hydraulic compound steering system. *Applied Energy*, 255, 113713.