



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

**IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA LA CARACTERIZACIÓN  
DE EMBRAGUES DE TIPO DISCO DE FRICCIÓN PARA EL LABORATORIO DE LA  
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA  
SALESIANA SEDE QUITO**

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

**AUTORES: LEONARDO ISAAC ORDOÑEZ JARAMILLO  
DAVID ANDRÉS DIAZ GUERRERO**

**TUTOR: WILSON GUSTAVO MOROCHO DOMÍNGUEZ**

Quito - Ecuador

2024

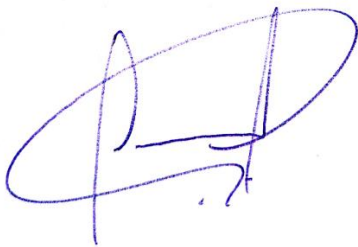
## **CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Nosotros, Leonardo Isaac Ordoñez Jaramillo con documento de identificación N° 1900595180 y David Andrés Díaz Guerrero con documento de identificación N° 1727458455 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.

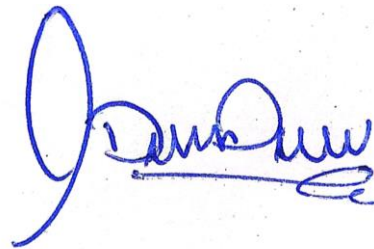
Quito, 05 de agosto de 2024

Atentamente,



---

Leonardo Isaac Ordoñez Jaramillo  
1900595180



---

David Andrés Díaz Guerrero  
1727458455

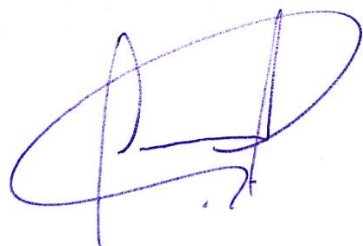
## **CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, Leonardo Isaac Ordoñez Jaramillo con documento de identificación No. 190595180 y David Andrés Díaz Guerrero con documento de identificación No. 1727458455, 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: “ Implementación de un banco de pruebas para la caracterización de embragues de tipo disco de fricción para el laboratorio de la Carrera de Ingeniería Automotriz de la Universidad Politécnica Salesiana 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

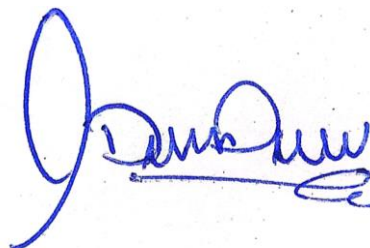
Quito, 05 de agosto de 2024

Atentamente,



---

Leonardo Isaac Ordoñez Jaramillo  
1900595180



---

David Andrés Díaz Guerrero  
1727458455

## CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Wilson Gustavo Morocho Domínguez con documento de identificación N° 0105072144 docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA LA CARACTERIZACIÓN DE EMBRAGUES DE TIPO DISCO DE FRICCIÓN PARA EL LABORATORIO DE LA CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE QUITO, realizado por Leonardo Isaac Ordoñez Jaramillo con documento de identificación N°1900595180 y por, David Andrés Díaz Guerrero con documento de identificación N.º 1727458455 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, 05 de agosto de 2024

Atentamente,



---

Ing. Wilson Gustavo Morocho Domínguez, MSc  
0105072144

## **DEDICATORIA**

Dedico el presente proyecto a mis padres Leonardo y Mónica, quienes me dieron la vida y me han brindado su apoyo incondicional a lo largo de toda mi existencia, a mis tíos Mario y María Fernanda que me abrieron las puertas de su hogar y me volvieron parte de el mismo desde el primer momento en el que llegué, sin el apoyo maravilloso de ustedes no podría haber cumplido el primer paso de mi sueño.

Leonardo Ordoñez

Dedico el presente proyecto a mis queridos padres que amo con todo mi corazón, Danny y Sandra quienes me han apoyado de manera incondicional a lo largo de toda mi vida, ellos han sido el pilar fundamental para cumplir este gran logro.

David Diaz

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por darme la salud, la fuerza y las bendiciones que necesité para llegar a la culminación de mis estudios de pregrado, a mi familia entera por siempre ser un apoyo para mí y también ser la fuente de inspiración para luchar por cumplir mis propias metas

Leonardo Ordoñez

Agradezco a mis padres, abuelos y hermanos por siempre ser un apoyo para mí a pesar de las adversidades y brindarme un cariño incondicional, y a dios por darme la salud y sabiduría para superar los retos a lo largo de la vida.

David Diaz

# INDICE GENERAL

RESUMEN .....	1
ABSTRACT .....	2
INTRODUCCIÓN.....	1
PROBLEMA .....	4
Objetivo General.....	5
Objetivos Específicos. ....	5
CAPÍTULO 1 .....	7
MARCO TEÓRICO .....	7
1.1 Sistema de embrague .....	7
1.2 Embragues de un solo disco a fricción: .....	7
1.3 Sistemas de embrague seco .....	7
1.4 Propiedades de los embragues de un solo disco a fricción:.....	8
1.5 Componentes de un sistema de embrague de fricción.....	8
1.5.1 Volante motor .....	8
1.5.2 Disco de fricción (Disco de embrague) .....	9
1.5.3 Plato de presión .....	9
1.5.4 Collarín o cojinete de empuje.....	10
1.5.5 Horquilla.....	10
1.6 Herramientas didácticas en la formación académica en ingeniería automotriz: .....	11
1.7 Importancia de la medición precisa de propiedades:.....	11
1.8 Desafíos en la enseñanza de embragues de un solo disco a fricción:.....	11
1.9 Banco de pruebas para discos de embrague .....	12
1.9.1 Prueba de presión estática.....	12
1.9.2 Prueba de fricción.....	12

CAPÍTULO 2 .....	13
DISEÑO DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA EMBRAGUES .....	13
2.1 Diseño de componentes: .....	13
2.1.1 Volante de inercia .....	13
2.1.2 Disco de fricción .....	14
2.1.3 Plato de presión .....	15
2.1.4 Conjunto de embrague ensamblado: .....	15
2.1.5 Motor eléctrico. ....	16
2.2 Selección del material de la estructura .....	17
2.2.1 Material Estructural .....	17
2.2.2 Acero Estructural o Acero negro (ASTM A 36) .....	17
2.2.3 Propiedades Mecánicas del acero estructural .....	17
2.3 Diseño de la estructura: .....	19
2.4 Análisis Estructural .....	22
2.4.1 Cargas .....	22
2.4.2 Tensión .....	25
2.4.3 Deformación .....	28
2.4.4 Planos .....	30
2.5 Sistema de accionamiento del embrague: .....	30
2.5.1 Palanca y Fulcro (Punto de apoyo): .....	31
2.5.2 Conexión al Embrague: .....	31
2.5.3 Ajuste de la Fuerza: .....	32
CAPITULO 3 .....	33
CONSTRUCCIÓN DE BANCO DE PRUEBAS .....	33
3.1 Proceso de Construcción: .....	33
3.1.1 Primera fase de construcción: .....	33



3.1.2 Segunda Fase de construcción:.....	35
3.1.3 Tercera Fase de construcción .....	36
3.1.4 Cuarta fase de construcción:.....	37
CAPÍTULO 4 .....	41
PROCEDIMIENTOS PARA ENSAYOS EN EMBRAGUES TIPO DISCOS DE FRICCIÓN .....	41
4.1 Pruebas Estáticas: .....	41
4.1.1 Verificación de Oscilación lateral en el disco de embrague.....	41
4.1.2 Verificación de superficie del volante de inercia. ....	42
4.2 Pruebas dinámicas .....	44
4.2.1 Prueba de desgaste:.....	44
4.2.2 Prueba de durabilidad: .....	44
4.2.3 Prueba de enganche y desenganche:.....	45
CAPÍTULO 5 .....	46
RESULTADOS DE LAS PRUEBAS REALIZADAS EN EL BANCO DE PRUEBAS...	46
5.1 Resultados de la prueba de desgaste:.....	46
5.2 Resultados de la prueba de durabilidad: .....	48
5.3 Resultados de la prueba de enganche y desenganche:.....	49
CONCLUSIONES.....	51
RECOMENDACIONES .....	52
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS. ....	53

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.1:</b> Motor Eléctrico.....	2
<b>Figura 1.2:</b> Volante de inercia.....	10
<b>Figura 1.3:</b> Disco de embrague.....	11
<b>Figura 1.4:</b> Plato de presión.....	11
<b>Figura 1.5:</b> Cojinete del embrague.....	12

<b>Figura 1.6:</b> Horquilla.....	12
<b>Figura 2.1:</b> Volante de inercia.....	19
<b>Figura 2.2:</b> Disco de fricción.....	20
<b>Figura 2.3:</b> Plato de presión.....	21
<b>Figura 2.4:</b> Conjunto embrague ensamblado.....	22
<b>Figura 2.5:</b> Motor eléctrico.....	23
<b>Figura 2.6:</b> Designaciones.....	24
<b>Figura 2.7:</b> Boceto inicial de la estructura.....	25
<b>Figura 2.8:</b> Boceto final de la estructura.....	26
<b>Figura 2.9:</b> Estructura de acero estructural (ASTM – A36) .....	27
<b>Figura 2.10:</b> Carga axial ( $F_x$ ).....	28
<b>Figura 2.11:</b> Carga Transversal ( $F_y$ ).....	29
<b>Figura 2.12:</b> Carga Vertical ( $F_z$ ).....	30
<b>Figura 2.13:</b> Simulación Tensión mínima.....	31
<b>Figura 2.14:</b> Simulación Tensión máxima.....	32
<b>Figura 2.15:</b> Simulación de deformación de la estructura.....	33
<b>Figura 2.16:</b> Planos de vista frontal y lateral de la estructura.....	34
<b>Figura 3.1:</b> Adaptación eje primario de caja.....	35
<b>Figura 3.2:</b> Pieza mecanizada para volante de inercia.....	36
<b>Figura 3.3:</b> Estructura base armada.....	37
<b>Figura 3.4:</b> Instalación de sistema de transmisión.....	38
<b>Figura 3.5:</b> Motor eléctrico instalado.....	39
<b>Figura 3.6:</b> Banco de pruebas pintado.....	40
<b>Figura 3.7:</b> Conexiones internas del motor.....	41
<b>Figura 3.8:</b> Enchufe para red trifásica.....	42
<b>Figura 3.9:</b> Botonera.....	43
<b>Figura 3.10:</b> Placa de conexiones del motor eléctrico.....	44
<b>Figura 3.11:</b> Banco de pruebas entregado.....	45
<b>Figura 4.1:</b> Comprobación de oscilación.....	46
<b>Figura 4.2:</b> Comprobación Volante de inercia.....	47
<b>Figura 4.3:</b> Comprobación del volante de inercia (concavidad).....	48

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 2.1</b> Propiedades Mecánicas Promedio para materiales de ingeniería .....	15
<b>Tabla 2.2</b> Propiedades Tubos de acero .....	25
<b>Tabla 2.3</b> Cargas mínimas y máximas en los ejes axiales longitudinales y vertical .....	30
<b>Tabla 2.4</b> Tensiones mínimas y máximas que soporta la estructura .....	32
<b>Tabla 2.5</b> Deformación máxima .....	33
<b>Tabla 5.1</b> Resultados de la prueba de desgaste Citroën Berlingo .....	43
<b>Tabla 5.2</b> Resultados de la prueba de desgaste Honda Civic .....	45
<b>Tabla 5.3</b> Resultados de la prueba de desgaste Kia Picanto .....	47
<b>Tabla 5.4</b> Prueba durabilidad Citroën Berlingo .....	46
<b>Tabla 5.5</b> Prueba durabilidad Honda Civic .....	46
<b>Tabla 5.6</b> Prueba durabilidad Kia Picanto .....	47
<b>Tabla 5.7</b> Prueba de enganche y desenganche del disco Citroën Berlingo .....	48
<b>Tabla 5.8</b> Prueba de enganche y desenganche del disco Honda Civic .....	49
<b>Tabla 5.9</b> Prueba de enganche y desenganche del disco Kia Picanto .....	50

## RESUMEN

El presente trabajo se enfoca en el diseño, desarrollo e implementación de un banco de pruebas destinado a la caracterización de embragues de disco de fricción, elementos fundamentales en las transmisiones de vehículos. El objetivo radica en dotar al Laboratorio de Ingeniería Automotriz de la Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito con una herramienta permita analizar con precisión el rendimiento, comportamiento dinámico y resistencia de estos componentes.

El proceso de diseño de este banco de pruebas ha involucrado una investigación para comprender demandas operativas de los embragues de disco de fricción en diversos contextos automotrices. Se ha optado por un enfoque que garantice la replicación de condiciones operativas reales, lo que implica la creación de un entorno controlado capaz de simular cargas, temperaturas y velocidades representativas de situaciones reales de uso en vehículos.

La implementación exitosa de este banco de pruebas no solo supone un logro tecnológico, sino que también conlleva una serie de beneficios multidisciplinarios. En el ámbito académico, brinda una plataforma para la aplicación práctica de conceptos teóricos en ingeniería automotriz, enriqueciendo la formación de estudiantes y su comprensión de la dinámica y diseño de embragues. Además, desde una perspectiva de investigación, este banco de pruebas da datos precisos y cuantitativos sobre el comportamiento de los embragues en condiciones controladas, lo que aportará al conocimiento existente y servirá de base para futuras investigaciones y desarrollos en el campo automotriz.

En un contexto más amplio, se espera que los resultados obtenidos contribuyan a optimizar la selección y diseño de embragues para aplicaciones específicas en la industria automotriz, mejorando la eficiencia y durabilidad de los sistemas de transmisión.

En síntesis, la implementación de este banco de pruebas es un hito significativo en la investigación y formación de ingenieros automotrices, además de ofrecer oportunidades para la innovación tecnológica y el avance en la ingeniería automotriz.

**Palabras Claves:** Banco de pruebas, sistema de embrague, volante motor, disco de presión, prueba de presión, prueba de fricción.

## ABSTRACT

This research focuses on the design, development and implementation of a test bench specifically intended for the exhaustive characterization of friction disc clutches, fundamental elements in vehicle transmissions. The primary objective lies in providing the Automotive Engineering Laboratory of the Salesian Polytechnic University Quito Headquarters with a cutting-edge technological tool that allows the precise analysis of the performance, dynamic behavior, and resistance of these components.

The design process of this testbed has involved in-depth research to understand the complexities and operational demands of friction disc clutches in various automotive contexts. An approach has been chosen that guarantees the replication of real operating conditions, which implies the creation of a controlled environment capable of simulating loads, temperatures, and speeds representative of real situations of use in vehicles.

The successful implementation of this testbed is not only a technological achievement, but also entails a series of multidisciplinary benefits. In the academic field, it provides a platform for the practical application of theoretical concepts in automotive engineering, enriching the training of students and their understanding of the dynamics and design of clutches. Furthermore, from a research perspective, this testbed provides precise and quantitative data on the behavior of clutches under controlled conditions, which will not only add to existing knowledge, but will also serve as a basis for future research and development in the field. automotive.

In a broader context, it is expected that the results obtained will contribute to optimizing the selection and design of clutches for specific applications in the automotive industry, improving the efficiency and durability of transmission systems.

In summary, the implementation of this test bed represents a significant milestone in the research and training capacity of automotive engineers, in addition to offering opportunities for technological innovation and advancement in the field of automotive engineering.

**Keywords:** Test bench, clutch system, flywheel, pressure disc, pressure test, friction test.

## INTRODUCCIÓN

En el dinámico mundo de la ingeniería automotriz, la optimización y comprensión de los sistemas de transmisión son fundamentales para garantizar el rendimiento, la seguridad y la durabilidad de los vehículos. Entre los componentes vitales que influyen en esta dinámica se encuentran los embragues de disco de fricción, cuya eficiencia y comportamiento bajo diversas condiciones de operación son cruciales para el desempeño general del sistema de transmisión.

La presente investigación se enfoca en la implementación de un banco de pruebas especializado para la caracterización detallada de embragues de tipo disco de fricción. Este proyecto, realizado en el Laboratorio de la Carrera de Ingeniería Automotriz de la Universidad Politécnica Salesiana, Sede Quito, pretende dar un entorno experimental controlado y preciso para analizar estos elementos fundamentales en la ingeniería automotriz.

La relevancia de este banco de pruebas radica en su capacidad para simular condiciones variadas y representativas de funcionamiento, permitiendo la evaluación precisa de parámetros clave como la resistencia al deslizamiento, la transferencia de torque y la vida útil del embrague. Asimismo, esta herramienta posibilita el estudio de factores externos que inciden en el desempeño del embrague, como la temperatura, la presión y la velocidad de operación.

El trabajo realizado se sustenta en una revisión bibliográfica que respalda la importancia de la caracterización precisa de embragues de disco de fricción en el contexto automotriz. A través de la implementación de este banco de pruebas, se busca no solo mejorar la comprensión teórica, sino también aportar al desarrollo y la innovación en el diseño y la optimización de sistemas de transmisión en la industria automotriz.

En este contexto, este trabajo documenta el diseño, la implementación y los resultados obtenidos con el banco de pruebas para caracterizar embragues de disco de fricción, destacando su relevancia para la formación académica y su aplicación en la industria automotriz.

## **PROBLEMA**

El sistema de embrague en un vehículo es una parte crucial de la transmisión de potencia desde el motor a la transmisión. Su operación, sin embargo, genera pérdidas mecánicas que pueden afectar la eficiencia y la vida útil del sistema. Este problema se centra en tres aspectos principales de las pérdidas mecánicas en el embrague:

**Pérdidas por fricción:** Estas pérdidas se producen debido a la resistencia a la fricción entre las superficies de contacto de los discos de fricción del embrague. Cuanto mayor sea la fuerza de sujeción y la velocidad de rotación del embrague, mayores serán estas pérdidas. Las pérdidas por fricción afectan directamente la eficiencia del sistema y generan calor adicional.

**Pérdidas por deslizamiento:** Cuando se presiona el embrague, las superficies de fricción pueden deslizarse entre sí para permitir que el motor y la transmisión giren a diferentes velocidades, como en el cambio de marchas. Este deslizamiento genera pérdidas de energía que afectan la eficiencia general del vehículo, especialmente durante la transición entre marchas.

**Pérdidas por desgaste de componentes:** Con el tiempo, las superficies de fricción de los discos y otros componentes del embrague pueden desgastarse debido al contacto constante y la abrasión. El desgaste conduce a un aumento en las pérdidas por fricción y, a medida que los componentes se desgastan, la eficiencia disminuye y la vida útil del embrague se acorta.

Estimar y minimizar las pérdidas mecánicas en un disco de embrague es esencial para mejorar la eficiencia, la durabilidad y la sostenibilidad del sistema, lo que aporta beneficios económicos, medioambientales y de seguridad.

### **Delimitación del problema. –**

Este proyecto se centra en implementar un banco de pruebas para caracterizar embragues de disco de fricción en el Laboratorio de la Carrera de Ingeniería Automotriz de la Universidad

Politécnica Salesiana, Sede Quito. La delimitación de este problema se establece en los siguientes aspectos:

Embragues de Disco de Fricción: El enfoque se limita a los embragues de disco de fricción como objeto de estudio. El banco de pruebas se desarrolla para caracterizar y analizar este tipo de embrague, excluyendo otros tipos o variantes de embragues automotrices.

Ámbito de Aplicación: La implementación del banco de pruebas se restringe al Laboratorio de la Carrera de Ingeniería Automotriz de la Universidad Politécnica Salesiana, Sede Quito. El alcance de este proyecto no se extiende a su aplicación en otros laboratorios o instituciones.

Parámetros de Caracterización: La caracterización se centra en parámetros como la resistencia al deslizamiento, la transferencia de torque, la vida útil del embrague y la influencia de factores externos como la temperatura, la presión y la velocidad de operación.

Implementación y Resultados: El trabajo se concentra en documentar el diseño, la implementación y los resultados obtenidos a partir del uso del banco de pruebas en el Laboratorio de la Carrera de Ingeniería Automotriz. No abarca la aplicación práctica de los resultados en vehículos o sistemas automotrices reales.

Esta delimitación establece el alcance específico de la investigación y el desarrollo del banco de pruebas para la caracterización de embragues de disco de fricción, limitando el enfoque a un contexto académico dentro de la Universidad Politécnica Salesiana, Sede Quito.

### **Objetivo General.**

Implementar un banco de pruebas para la caracterización de embragues de tipo disco de fricción para el laboratorio de la Carrera de Ingeniería Automotriz de la Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito.

### **Objetivos Específicos.**

- Establecer las características constructivas de un banco de pruebas para embragues tipo disco de fricción utilizados en vehículos automotores livianos.
- Diseñar un banco de pruebas para embragues tipo disco de fricción.



- Construir un banco de pruebas para embragues tipo disco de fricción.
- Establecer el procedimiento para ensayos para embragues tipo disco de fricción.
- Interpretar los resultados de los ensayos realizados.

# **CAPÍTULO 1**

## **MARCO TEÓRICO**

En la ingeniería automotriz, es esencial contar con herramientas precisas y adecuadas para la evaluación y el análisis de los componentes de los vehículos. Este proyecto tiene como objetivo establecer las características constructivas de un banco de pruebas específico para embragues tipo disco de fricción, utilizados en vehículos automotores livianos. A través de este enfoque, se busca proporcionar una base sólida para la creación de un equipo que permita realizar pruebas y mediciones precisas, facilitando así el estudio y la mejora de estos componentes críticos en el rendimiento vehicular.

### **1.1 Sistema de embrague**

Un sistema de embrague es un elemento de una máquina que conecta o desconecta dos ejes giratorios mediante fricción, las fuerzas y movimientos que actúan sobre los ejes se transfieren sin cambio de magnitud a través de la construcción. (Cascante Santos, F. F. 2014); en este trabajo se tomarán en cuenta solo los discos de embrague secos donde las fuerzas transmitidas se dan mediante fricción.

### **1.2 Embragues de un solo disco a fricción:**

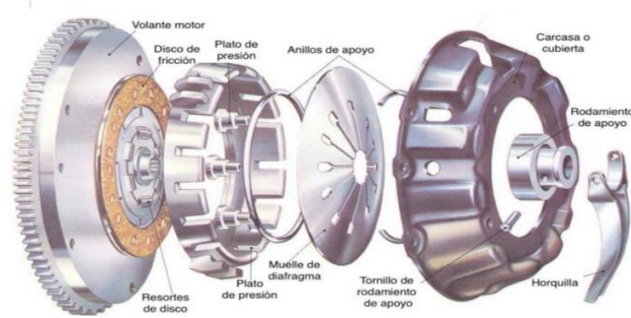
Los embragues de un solo disco a fricción son componentes esenciales en los sistemas de transmisión de vehículos automotrices. Según Heywood (1988), estos embragues permiten la transmisión de potencia del motor a la transmisión al acoplar o desacoplar la superficie de fricción del disco con el volante del motor. Su diseño y funcionamiento se basan en principios de fricción y presión.

### **1.3 Sistemas de embrague seco**

En la *Figura 1.1* se identifica una configuración típica de un sistema de embrague.

La tapa del embrague que contiene el disco de embrague y el resorte del diafragma esta atornillado al volante, sujetando la placa de fricción en medio, cuando se presiona el pedal del embrague en un vehículo de transmisión manual la horquilla aplica la fuerza sobre el resorte del diafragma a través del cojinete de desembrague, lo que hace que la placa de presión se retraiga, desconectando así el motor de la caja de cambios. (Sabani & Yenibayrak, 2021).

*Figura 1.1 - Componentes Sistema de embrague*



*Fuente: Caja de cambios. <https://www.pngwing.com/en/free-png-tvzuv>*

#### **1.4 Propiedades de los embragues de un solo disco a fricción:**

Las propiedades de los embragues de un solo disco a fricción incluyen la capacidad de torque, el coeficiente de fricción, el deslizamiento, la respuesta térmica y la durabilidad. Según Pulkrabek (2004), la capacidad de torque se refiere a la máxima cantidad de torque que el embrague puede transmitir sin deslizarse. El coeficiente de fricción determina el agarre del embrague y su eficiencia de transferencia de energía. El deslizamiento es la diferencia de velocidad entre el disco de fricción y el volante del motor durante la conexión.

#### **1.5 Componentes de un sistema de embrague de fricción.**

##### **1.5.1 Volante motor**

Este componente se encarga de transformar el movimiento rectilíneo de los pistones en movimiento rotativo, ayuda a suavizar el giro del motor y entrega la transferencia de par. Una referencia a este elemento se puede observar en la *Figura 1.2*.

*Figura 1.2 – Volante de inercia*



*Fuente : <https://impoali.com/sabias-que-existen-dos-tipos-de-volante-de-motor/>*

### **1.5.2 Disco de fricción (Disco de embrague)**

En la *Figura 1.3* se observa un disco de embrague. Este disco está recubierto con material de fricción en ambas caras y se encuentra ubicado entre el plato de presión y el volante del motor. La fricción entre el disco y el volante permite la conexión del motor y la transmisión.

*Figura 1.3 - Disco de embrague*



*Fuente: MANUAL SACHS DE EMBRAGUES 2005*

### **1.5.3 Plato de presión**

Es una pieza que aplica presión sobre el disco de embrague para permitir la transferencia de potencia entre el motor y la transmisión. Se observa el componente en la *Figura 1.4*

*Figura 1.4 - Plato de presión*



Fuente: <https://www.autodoc.es/sachs/7141457>

#### **1.5.4 Collarín o cojinete de empuje**

Es el responsable de liberar la presión sobre el disco de fricción cuando se pisa el pedal del embrague. Esto permite la desconexión del motor y la transmisión.

*Figura 1.2 - Cojinete del embrague*



Fuente: *MANUAL SACHS DE EMBRAGUES 2005*

#### **1.5.5 Horquilla**

Transmite el movimiento del pedal del embrague al mecanismo de liberación, permitiendo el control manual del embrague.

*Figura 1.3 - Horquilla*



*Fuente: MANUAL SACHS DE EMBRAGUES 2005*

### **1.6 Herramientas didácticas en la formación académica en ingeniería automotriz:**

Las herramientas didácticas son fundamentales en la formación académica en ingeniería automotriz, ya que posibilitan que los estudiantes apliquen los conocimientos teóricos en un entorno práctico. Singh (2015) destaca que los bancos de pruebas son herramientas esenciales para medir y analizar las propiedades de los embragues de un solo disco a fricción. Estas herramientas proporcionan una experiencia práctica que complementa la teoría y mejora la comprensión de los estudiantes.

### **1.7 Importancia de la medición precisa de propiedades:**

La medición precisa de las propiedades de los embragues es fundamental para comprender su rendimiento. Según Hemanshu et al. (2016), mediciones precisas de la capacidad de torque, el coeficiente de fricción y otros parámetros permiten evaluar y comparar diferentes diseños de embragues. Esto contribuye a un diseño óptimo y a la mejora continua de los sistemas de transmisión automotriz.

### **1.8 Desafíos en la enseñanza de embragues de un solo disco a fricción:**

La enseñanza de los embragues automotrices puede ser desafiante debido a su naturaleza abstracta y a la falta de experiencia práctica. Según SAE (2010), la falta de herramientas didácticas específicas dificulta el desarrollo de habilidades técnicas y la capacidad de los estudiantes para diagnosticar y solucionar problemas relacionados con los embragues automotrices.

## **1.9 Banco de pruebas para discos de embrague**

Un banco de pruebas es un dispositivo que se utiliza para evaluar y medir diversas propiedades y rendimientos de los discos de embrague. Son diseñados de manera que simulan las condiciones de funcionamiento de un sistema de embrague.

Los parámetros que se medirán en el banco de pruebas serán la presión que debe soportar el disco, la separación y la fricción

### **1.9.1 Prueba de presión estática**

Esta prueba medirá la presión que ejerce el disco de embrague bajo una carga estática, esto ayudará a garantizar que la presión del sistema sea consistente y cumpla con las condiciones requeridas.

### **1.9.2 Prueba de fricción**

Se evalúa las propiedades de fricción del disco, se mide la resistencia al deslizamiento cuando el disco está inmóvil.

## **CAPÍTULO 2**

### **DISEÑO DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA EMBRAGUES**

A lo largo del presente capítulo se desarrollará un análisis de la estructura que soportará el banco de pruebas, esto se llevará a cabo a través del software Solid Works, el mismo permitirá simular el comportamiento de la estructura que se encontrará sometida a tensión, en este contexto, se podrá seleccionar el material adecuado para la construcción, asegurando que las partes estructurales del banco de pruebas soporten las cargas generadas por el conjunto del embrague.

A partir del diseño, es posible crear un modelo estándar para las maquetas, permitiendo establecer el material didáctico necesario para realizar diversas prácticas en el laboratorio.

Una vez finalizado el análisis de los componentes y ensambladas todas las partes, se obtendrá una herramienta fácil de manejar y comprender, lo que favorecerá el aprendizaje de los estudiantes.

Para el diseño de las estructuras, se consideran ciertos parámetros que influyen en la elección del perfil a utilizar en su elaboración, tales como:

- Cargas
- Tensión
- Deformación

#### **2.1 Diseño de componentes:**

##### **2.1.1 Volante de inercia**

El diseño del volante de inercia se lo realizó tomando como referencia las dimensiones y características de uno de estos componentes pertenecientes a un auto de la marca KIA PICANTO modelo 2021, el mismo fue replicado en el software de diseño y será usado como referencia en la construcción del banco.

El ya mencionado componente se muestra en la *Figura 2.1*.



*Figura 2.1 - Volante de inercia*



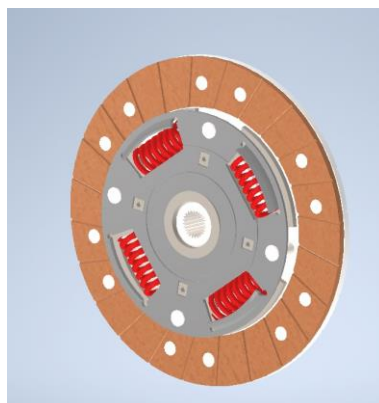
*Fuente: Diaz David; Ordoñez Leonardo*

### **2.1.2 Disco de fricción**

Fue obtenido del mismo vehículo que el componente anterior, ya que deben coincidir en sus especificaciones para asegurar un trabajo y desgaste adecuado y eficiente, esto con la finalidad de procurar resultados lo mas acercados a la realidad posible una vez se realicen pruebas en el banco.

En la *Figura 2.2* muestra el elemento en cuestión diseñado en un software de modelado 3d.

*Figura 2.2 - Disco de fricción*



*Fuente: Diaz David; Ordoñez Leonardo*

### 2.1.3 Plato de presión

Este elemento es un elemento fundamental en el sistema de embrague de un vehículo. Se trata de un disco metálico situado en el extremo del conjunto del embrague que, mediante el uso de resortes o muelles, ejerce presión sobre el disco de fricción cuando se desplaza hacia él. Esta presión permite la transmisión de potencia del motor a la caja de cambios al acoplar o desacoplar el disco de fricción con el volante inercial. El mecanismo del plato de presión garantiza un contacto firme y controlado entre ambos discos para facilitar el cambio de velocidades.

*Figura 2.3 - Plato de presión*

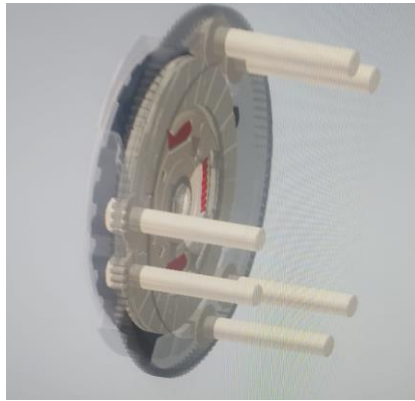


*Fuente: Diaz David; Ordoñez Leonardo*

### 2.1.4 Conjunto de embrague ensamblado:

A continuación, se muestra el conjunto embrague ensamblado en su totalidad, es de esta manera que se pretenderá que trabaje una vez instalado en el banco de pruebas.

*Figura 2.4 - Conjunto embrague ensamblado*



*Fuente: Diaz David; Ordoñez Leonardo*

### **2.1.5 Motor eléctrico.**

Este elemento se encargará de proporcionar el movimiento del volante de inercia y de esta forma poder observar cómo actúan los componentes del kit de embrague acorde al desgaste de cada uno. Se analizará más adelante las características que debe cumplir este motor eléctrico y los aditamentos necesarios para la transmisión del movimiento hacia el volante de inercia, como lo son bandas, poleas y un eje de transmisión.

*Figura 2.5 – Motor eléctrico*



*Fuente: Diaz David; Ordoñez Leonardo*

## **2.2 Selección del material de la estructura**

### **2.2.1 Material Estructural**

Para la concepción de la estructura que sostendrá el conjunto completo del embrague, se considerarán los ejes que simulan el movimiento de los componentes de un motor de combustión y de una caja de cambios, así como las vibraciones y cargas que puedan incidir sobre este conjunto. Se optará por el uso acero estructural como material principal, la justificación por la cual se optó por usar este material se menciona a continuación.

### **2.2.2 Acero Estructural o Acero negro (ASTM A 36)**

El acero estructural es un tipo de acero diseñado específicamente para ser utilizado en la construcción de estructuras, como edificios, puentes, torres y otras infraestructuras. Se caracteriza por su alta resistencia, durabilidad y capacidad para soportar cargas pesadas.

El término "acero negro" hace referencia al acero al carbono, el cual contiene un porcentaje de carbono inferior al 2% en su composición. Su denominación proviene del color negro que adquiere debido a una capa de óxido que lo recubre, misma que contribuye a prevenir la corrosión, lo que convierte a este material en una opción resistente y durable.

A continuación, se detallan las principales razones por cual se escogió este material:

- **Costo:** En comparación con otros tipos de acero con tratamientos superficiales adicionales, como el acero galvanizado o recubierto, el acero negro tiende a ser más económico, lo que lo hace atractivo para proyectos de construcción donde se busca minimizar costos sin sacrificar la calidad estructural.
- **Compatibilidad con Métodos de Construcción:** El acero negro es compatible con una variedad de métodos de construcción, incluidos la soldadura, el remachado y el atornillado, lo que permite su integración sin problemas en diferentes sistemas constructivos.

### **2.2.3 Propiedades Mecánicas del acero estructural**



*Tabla 1.2 - Propiedades Tubos de acero*

Designaciones		Área	Peso	Momento de Inercia	Módulo de Resistencia	Radio de giro
B (mm)	e (mm)	A (cm <sup>2</sup> )	P (kg cada m)	I (cm <sup>4</sup> )	W (cm <sup>3</sup> )	l (cm)
40	2	2,90	2,31	6,95	3,47	1,54
40	3	4,21	3,30	9,36	4,68	1,49

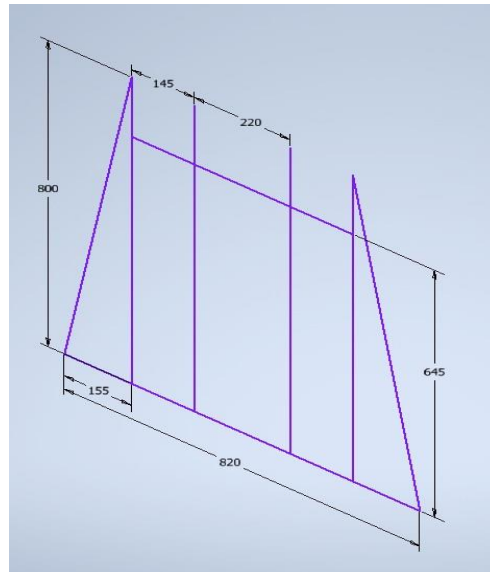
*Fuente: Adaptado de Import Aceros*

### **2.3 Diseño de la estructura:**

El diseño de la estructura se realizó en el software de CAD 3D Autodesk Inventor que ofrece herramientas para el diseño mecánico, la elaboración de documentación y la simulación. Se tomo en cuenta todos los elementos que están involucrados en el banco de pruebas los cuales son un motor eléctrico de 3 hp, un sistema de poleas para la distribución de las revoluciones del motor hacia el sistema de embrague.

En primer lugar, se realizó un esquema simple de la estructura como se observa en la *Figura 2.7*

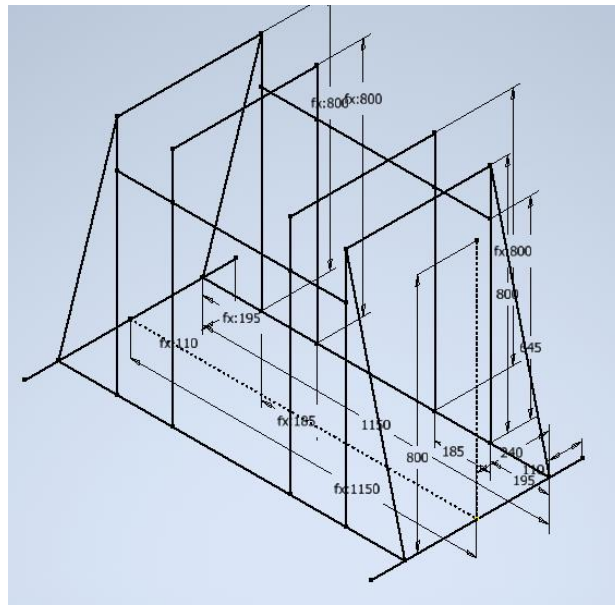
*Figura 2.7 - Boceto inicial de la estructura*



*Fuente: Diaz David; Ordoñez Leonardo*

Después se realizó el boceto completo de la estructura utilizando la herramienta de simetría en el software y realizando el trazado de líneas con las medidas correspondientes. Como resultado se obtiene el esquema de la estructura final que se observa en la *Figura 14*.

*Figura 2.8 - Boceto final de la estructura*

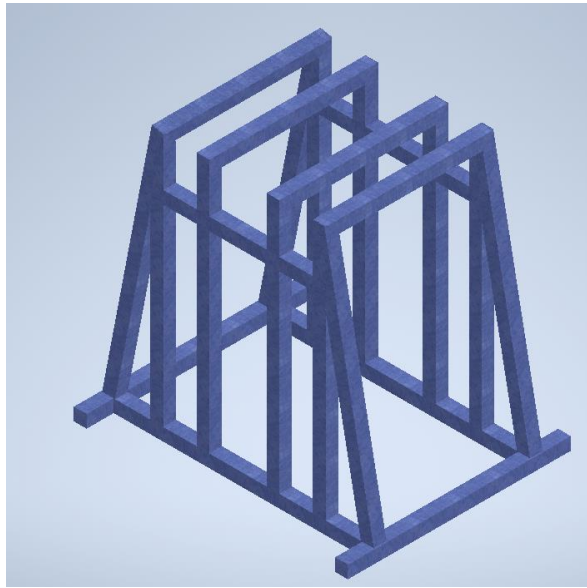


*Fuente: Diaz David; Ordoñez Leonardo*

Por consiguiente, se introduce el material en el bosquejo, para así poder realizar el análisis estructural, partiendo de la normativa ISO 657/14 se realiza la introducción del material en este caso se tomarán barras cuadráticas de Acero Estructural; en la *Figura 2.9* se observa la estructura final la cual será sometida a los Análisis de cargas, tensión y deformación.



*Figura 2.9 - Estructura de acero estructural (ASTM – A36)*



*Fuente: Diaz David; Ordoñez Leonardo*

## **2.4 Análisis Estructural**

El análisis estructural del banco de pruebas se desarrolló con el software INVENTOR. Esta herramienta nos ayuda agilizar el análisis estructural, ya que facilita la simulación del comportamiento de estas cuando están sometidas a diferentes esfuerzos y cargas de trabajo.

### **2.4.1 Cargas**

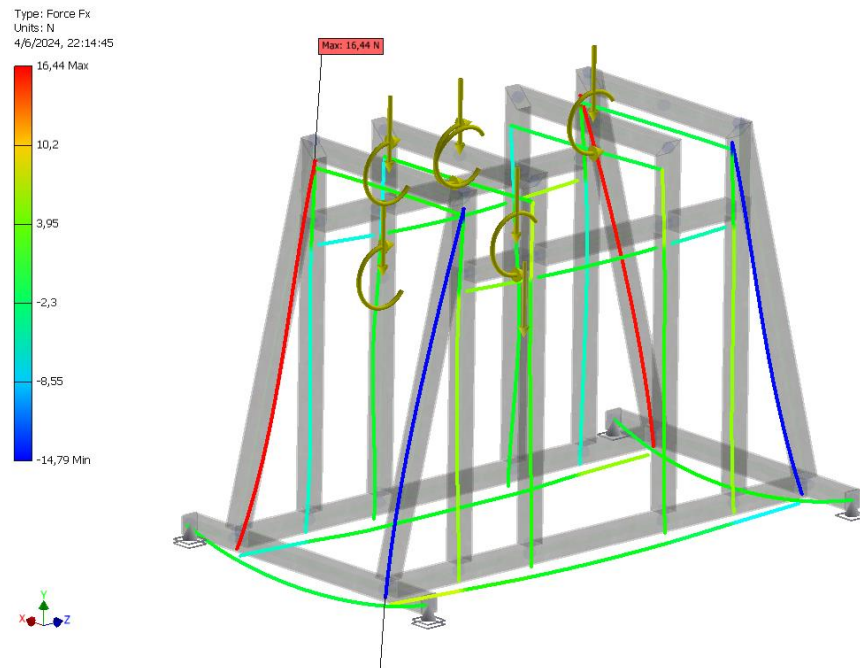
Las cargas en el diseño estructural son fuerzas externas que se ejercen sobre una estructura. incluyendo tanto las fuerzas estáticas como las dinámicas, que pueden ser permanentes o transitorias. Estas cargas son consideradas durante el análisis y diseño de la estructura para garantizar que los elementos estructurales sean capaces de resistir y soportar adecuadamente las fuerzas a las que están expuestos, evitando así el colapso o la falla de la estructura.

A continuación, se presenta el análisis de cargas que se llevó a cabo en la simulación, la figura 16 representa la simulación de cargas en el eje x la misma puede llegar a un máximo de 16.44 N

En un análisis estructural, cuando una carga se presenta en el eje x, se denomina carga axial o carga longitudinal. Este tipo de carga actúa a lo largo del eje longitudinal del elemento

estructural y puede ser de compresión (empujando el elemento) o de tensión (tirando del elemento), (Eslami, M. R. 2013). Y se ve representada en la *Figura 2.10* .

*Figura 2.10 – Carga axial (Fx)*

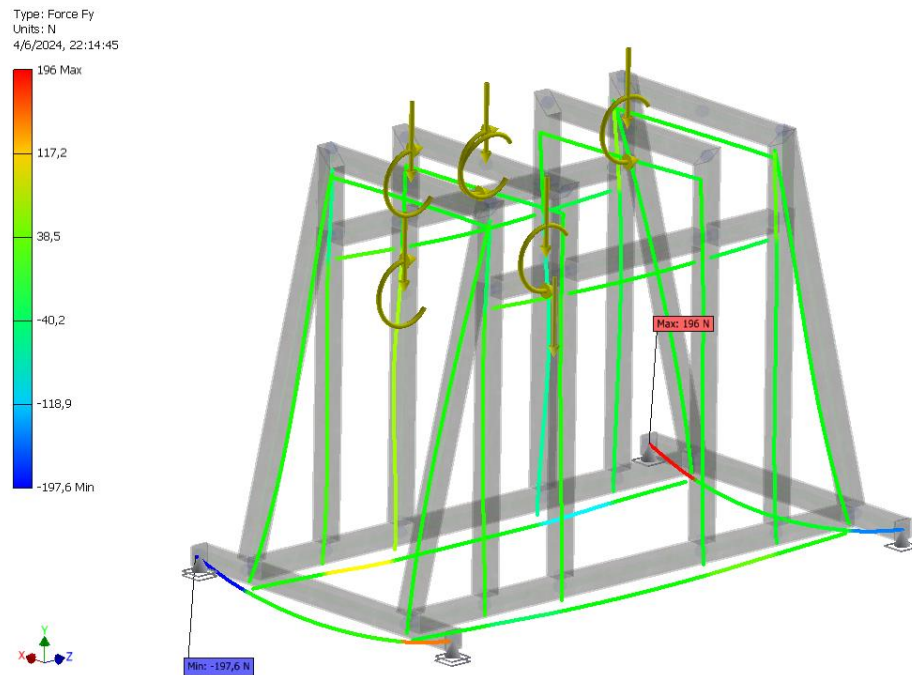


*Fuente: Diaz David; Ordoñez Leonardo*

Se denomina carga transversal o carga lateral. Este tipo de carga actúa perpendicularmente al eje longitudinal del elemento estructural y puede generar esfuerzos de flexión y cortante. Las cargas transversales son comunes en vigas y otros elementos estructurales que soportan fuerzas perpendiculares a su longitud. (Gere, J. M., & Goodno, B. J. 2012).

En la *Figura 2.11* se observa la simulación de las cargas transversales que soporta la estructura.

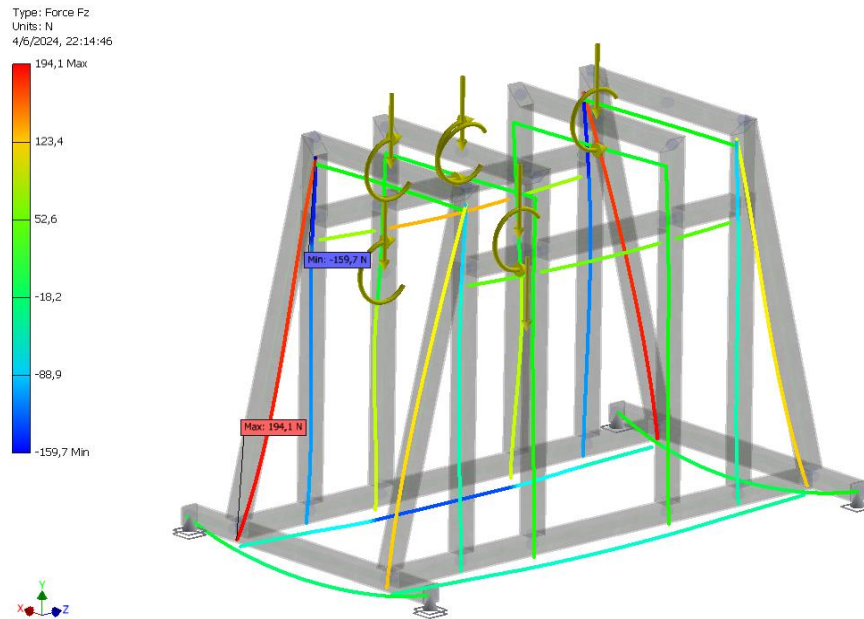
*Figura 2.11 - Carga Transversal (Fy)*



*Fuente: Diaz David; Ordoñez Leonardo*

Las cargas que se generan hacia el eje z se denominan cargas verticales. Este tipo de carga actúa en la dirección vertical, perpendicular a los planos x-y y puede incluir tanto cargas de gravedad (como el peso propio de la estructura) como cargas aplicadas (como el peso de los ocupantes, muebles, maquinaria, nieve, etc.). (Hibbeler, R. C. 2014). En la *Figura 2.12* se observan el comportamiento de la estructura sometido a esta carga.

Figura 2.12 – Carga Vertical ( $F_z$ )



Fuente: Diaz David; Ordoñez Leonardo

Tabla 2.3 – Cargas mínimas y máximas en los ejes axiales, longitudinales y vertical

Cargas	Minimas	Máximas
$F_x$	-14,793 N	16,444 N
$F_y$	-197,633 N	195,963 N
$F_z$	-159,697 N	194,118 N

Fuente: Díaz David; Ordoñez leonardo

## 2.4.2 Tensión

La tensión mecánica se define como la medida de la fuerza distribuida por unidad de área en la proximidad de un punto específico de un material.

Un caso específico es la tensión uniaxial, descrita como una fuerza  $F$  que se distribuye uniformemente sobre un área  $A$ . En este contexto, la tensión mecánica uniaxial se representa por un escalar, designado con la letra griega  $\sigma$  (sigma), y se calcula como:

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (1)$$

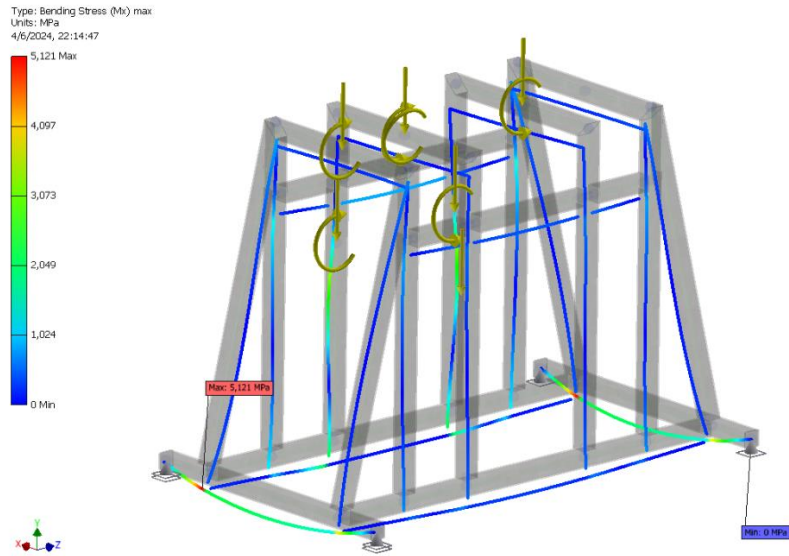
Las unidades en las que se expresa este resultado son;  $\text{Pa} = 1\text{N}/\text{m}^2$

Se puede generalizar la situación anterior a casos más complejos, donde las fuerzas no se distribuyen uniformemente dentro de un cuerpo con geometría más complicada. En estos casos, la tensión mecánica no puede ser representada únicamente por un escalar. (Hibbeler, R. C. 2017)

En este caso se utilizaremos el coeficiente de Poisson (denotado generalmente como  $\nu$  o  $\mu$ ) es una medida que describe la relación entre las deformaciones laterales y longitudinales en un material cuando se le aplica una fuerza. En otras palabras, mide cómo se "estrecha" o se "ensancha" un material en direcciones perpendiculares a la dirección en la que se está estirando o comprimiendo.

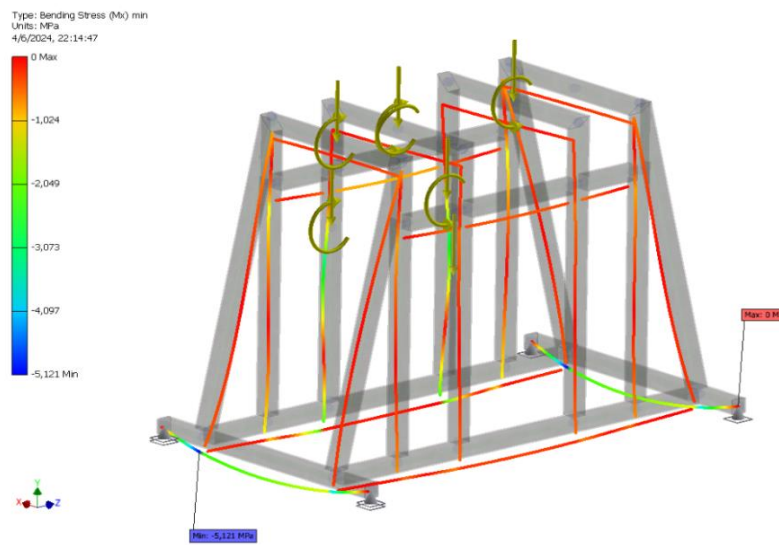
En la *Figuras 2.13* y *2.14* se muestran las simulaciones de las tensiones máximas y mínimas que se ejercen sobre la estructura.

Figura 2.13 - Simulación Tension maxima



Fuente: Diaz David; Ordoñez Leonardo

Figura 2.14 – Simulación Tensión mínima



Fuente: Díaz David; Ordoñez Leonardo

Tabla 2.4 – Tensiones mínimas y máximas que soporta la estructura

Tensiones	Smax	-0,061 MPa	5,121 MPa
-----------	------	------------	-----------

<i>Normales</i>	<i>Smin</i>	-5,121 MPa	0,164 MPa
	<i>Smax (Mx)</i>	0,000 MPa	5,121 MPa
	<i>Smin (Mx)</i>	-5,121 MPa	-0,000 MPa
	<i>Smax (My)</i>	0,000 MPa	1,988 MPa
	<i>Smin (My)</i>	-1,988 MPa	-0,000 MPa
	<i>Saxial</i>	-0,453 MPa	0,373 MPa
	<i>Tx</i>	-0,084 MPa	0,075 MPa
<i>Esfuerzos cortantes</i>	<i>Ty</i>	-0,997 MPa	1,006 MPa
	<i>T</i>	-0,661 MPa	0,653 MPa
<i>Esfuerzo de torsión</i>	<i>Smax</i>	-0,061 MPa	5,121 MPa

*Fuente: Díaz David; Ordoñez Leonardo*

### **2.4.3 Deformación**

Cuando un cuerpo sólido experimenta cambios de temperatura o está expuesto a cargas externas, se produce una deformación. El dimensionamiento es crucial en el diseño y se debe considerar la interacción con el entorno (Budynas, R. G., & Nisbett, J. K. 2011). Es esencial mantenerse fiel a la realidad y utilizar sistemas que no alteren la configuración original de un sistema que requiere un diseño.

Se aplicarán todos estos parámetros de diseño como fuerzas puntuales en el prototipo de la estructura, siguiendo la propuesta de (Berrocal, 2007).

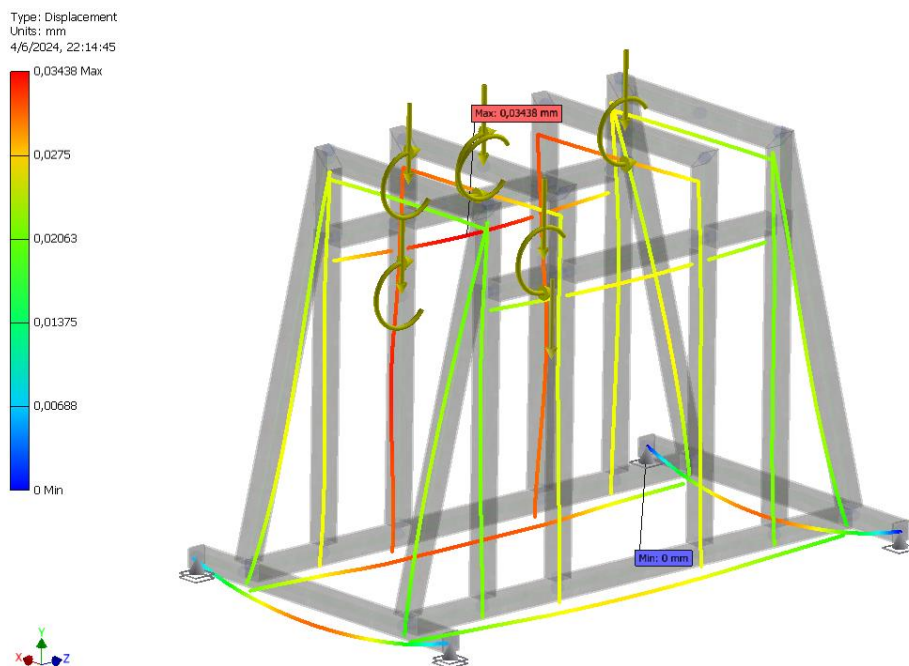
En ingeniería, la medida más básica para evaluar la deformación es la deformación axial o deformación unitaria, que se define como el cambio en la longitud dividido por la longitud original.

$$\varepsilon = \frac{\Delta S}{S} = \frac{S' - S}{S} \quad (2)$$

Donde "s" representa la longitud inicial de la región en estudio y "s'" la longitud final o deformada. Este parámetro es útil para describir los cambios en la longitud de elementos como cables o prismas mecánicos. En la Mecánica de Sólidos Deformables, la deformación puede manifestarse de diversas maneras y en distintas direcciones, pudiendo también provocar alteraciones en la forma del cuerpo.

La *Figura 2.15* nos permite observar que la deformación en las vigas superiores, debido a la fuerza que ejerce el conjunto embrague durante su funcionamiento, visualizando en rojo las zonas más críticas, pero como se puede observar la deformación en las partes más críticas de la estructura es muy mínimo. Precisamente 0,03 mm, lo que nos indica que la estructura soporta el mecanismo sin ningún problema.

*Figura 2.15 Simulación de deformación de la estructura*



*Fuente: Díaz David; Ordoñez Leonardo*

*Tabla 2.5 – Deformación máxima*



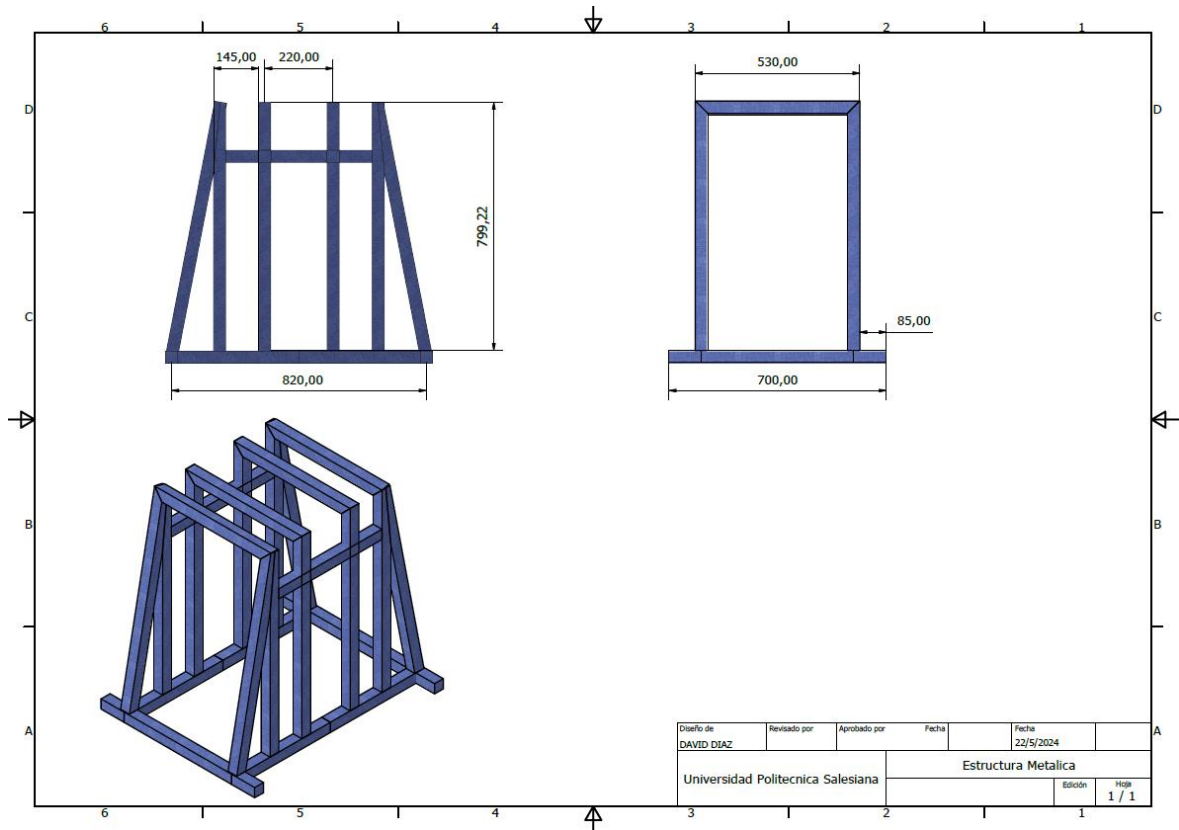
<b>Deformación</b>	<b>0.034 mm</b>
--------------------	-----------------

*Fuente: Díaz David; Ordoñez Leonardo*

#### 2.4.4 Planos

Se realizó los planos de la estructura donde se indican 2 vistas principales las cuales son vista lateral y frontal del banco de pruebas, como se ve representado en la *Figura 2.16*

*Figura 2.16 - Planos de vista frontal y lateral de la estructura.*



*Fuente: Díaz David; Ordoñez Leonardo*

#### 2.5 Sistema de accionamiento del embrague:

## Operación de palanca mecánica

Es un mecanismo simple que amplifica la fuerza aplicada para mover una carga. La palanca consta de una barra rígida que gira alrededor de un punto de apoyo o fulcro. La efectividad de una palanca depende de la longitud de los brazos de palanca (la distancia desde el punto de apoyo hasta el punto donde se aplica la fuerza y hasta el punto donde se ubica la carga). (Beer, F. P., & Johnston, E. R. 2009)

Hay tres tipos de palancas:

- Primer tipo: El pivote está entre la fuerza aplicada y la carga (por ejemplo, un balancín).
- Segundo tipo: La carga está entre el pivote y la fuerza aplicada (por ejemplo, una carretilla).
- Tercer tipo: La fuerza aplicada está entre el pivote y la carga (por ejemplo, unas pinzas).

La ventaja mecánica de una palanca se determina mediante la relación entre la longitud del brazo de la fuerza (la distancia desde el fulcro hasta el punto de aplicación de la fuerza) y la longitud del brazo de la carga (la distancia desde el fulcro hasta la carga).

Para accionar el embrague didáctico usando este concepto de palanca, podemos diseñar un sistema donde se utilice una palanca para controlar el movimiento de la horquilla que acciona el embrague.

### **2.5.1 Palanca y Fulcro (Punto de apoyo):**

Se diseñó una palanca que pueda moverse alrededor de un fulcro fijo. Este se ubica de manera que divida la palanca en dos brazos: uno más largo donde se aplicará la fuerza y otro más corto que se conectará al mecanismo del embrague.

### **2.5.2 Conexión al Embrague:**

Se conectó el brazo corto de la palanca a la horquilla que se encarga de activar el embrague. Cuando se aplica una fuerza al extremo del brazo largo de la palanca, la palanca rotará alrededor del fulcro y el brazo corto empujará o tirará de la horquilla.

### **2.5.3 Ajuste de la Fuerza:**

La longitud del brazo largo y corto de la palanca se ajusta de manera que se proporcione la ventaja mecánica necesaria. Si el brazo largo es varias veces más largo que el brazo corto, se necesitará menos fuerza para accionar el embrague.

## **CAPITULO 3**

### **CONSTRUCCIÓN DE BANCO DE PRUEBAS**

En este capítulo se describe detalladamente el proceso de construcción del banco de pruebas para embragues de tipo disco de fricción. Este banco de pruebas se diseñó con el propósito de realizar una caracterización exhaustiva de estos componentes, fundamentales en los sistemas de transmisión de vehículos automotrices. La implementación de este banco de pruebas se llevó a cabo en el Laboratorio de Ingeniería Automotriz de la Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito.

#### **3.1 Proceso de Construcción:**

La construcción del banco de pruebas se llevó a cabo en varias etapas, asegurando en cada fase la precisión y calidad del ensamblaje.

##### **3.1.1 Primera fase de construcción:**

Mecanizado de ejes de una 1”1/4 que simulan el primario de la caja, y, el cigüeñal: Se usaron dos ejes de 50 cm de acero de transmisión AISI 1018 para la representación en el banco de pruebas, además una pieza mecanizada que permitió unir el volante de inercia a uno de los ejes giratorios, este proceso se muestra en las siguientes dos *Figuras 3.1 y 3.2*:

*Figura 3.1 Adaptación eje primario de caja*



*Fuente: Díaz David; Ordoñez Leonardo*

*Figura 3.2- Pieza mecanizada para volante de inercia*



*Fuente: Díaz David; Ordoñez Leonardo*

Sujeción de ejes de rotación: Se usaron 4 chumaceras para ejes de 1"  $\frac{1}{4}$ .

Fabricación de la estructura: Se cortaron y soldaron las piezas de acero según el diseño realizado en el software CAD. Se observa la estructura construida en la *Figura 3.3*:

*Figura 3.3 - Estructura base armada*



*Fuente: Díaz David; Ordoñez Leonardo*

### 3.1.2 Segunda Fase de construcción:

Adecuación de sistema de transmisión por poleas: La manera de transmitir el movimiento del motor, hacia el eje que simula la rotación del cigüeñal es a través de un sistema de poleas de aluminio, la polea motriz, es decir la que se encuentra conectada y asegurada al motor, es de 6 cm de diámetro, y la polea que se encuentra ubicada sobre el eje, es de 10,5 cm de diámetro, ambas de doble canal, ya que se usaron dos bandas.

*Figure 3.4 - Instalación de sistema de transmisión*



*Fuente: Díaz David; Ordoñez Leonardo*

Acoplamiento del motor: Se instaló un motor eléctrico de 2 hp, conectado al sistema de poleas y al conjunto del embrague. Esto se observa la *Figura 3.5* a continuación:

*Figura 3.5 - Motor eléctrico instalado*



*Fuente: Díaz David; Ordoñez Leonardo*

### **3.1.3 Tercera Fase de construcción:**

Acabados estéticos: Se procedió a pintar toda la estructura y a dejar centrado el motor y el sistema de poleas, se añadió una palanca para cumplir las funciones de accionamiento del kit de embrague. Esto se observa en la *Figura 3.6*:

*Figura 3.6 - Banco de pruebas pintado*



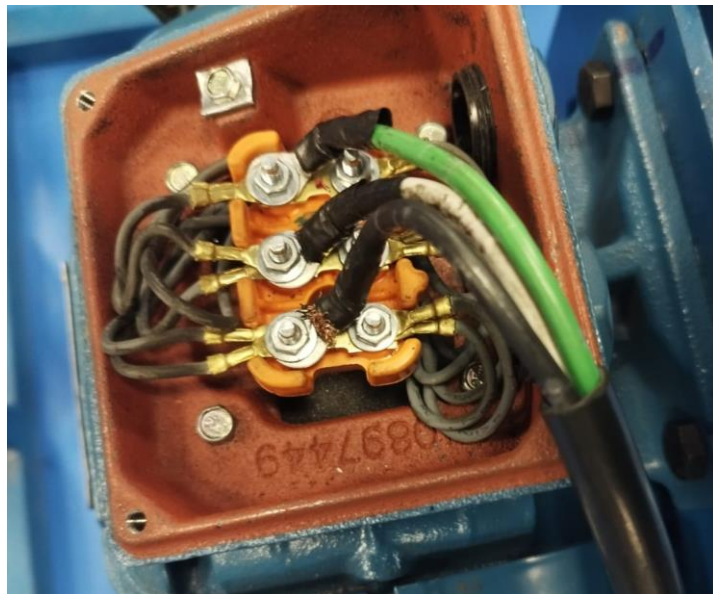
*Fuente: Díaz David; Ordoñez Leonardo*

### 3.1.4 Cuarta fase de construcción:

Sistema de accionamiento eléctrico: Se usó un motor eléctrico de 2 HP, de tipo trifásico, este proporciona las revoluciones suficientes para simular ciclos de trabajo operacionales en los discos de embrague, las revoluciones transmitidas son de aproximadamente 1600 revoluciones por minuto, este tipo de motores son de alta fiabilidad y, su eficiencia energética es mejor a la de un motor monofásico, siendo esta última razón crucial a la hora de decidimos por esta unidad de potencia

El accionamiento de este motor se controla a través de una botonera ubicada en la parte lateral del banco de pruebas, es crucial que el motor reciba una alimentación trifásica para funcionar de manera adecuada, las conexiones internas del motor se muestran a continuación, de igual manera su botonera, enchufe y tomacorriente correspondientes:

*Figura 3.7 - Conexiones internas del motor*



*Fuente: Díaz David; Ordoñez Leonardo*



*Figura 1.8 - Enchufe para red trifásica*



*Fuente: Díaz David; Ordoñez Leonardo*

*Figura 3.9 - Botonera*

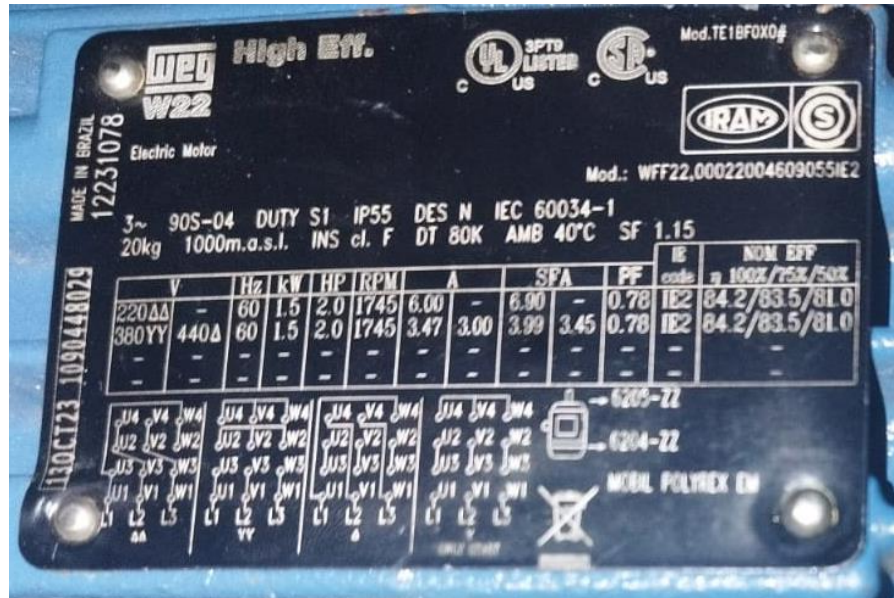


*Fuente: Díaz David; Ordoñez Leonardo*

Es crucial seguir las indicaciones de la placa del motor, proporcionada por el fabricante. En este caso se usó la configuración de conexión doble delta, esto para que el motor

funcione con una alimentación de 220 v. La placa del motor utilizado se muestra en la *Figura 3.10*:

*Figura 3.10 - Placa de conexiones del motor eléctrico.*



*Fuente: Fabricante WEG*

Una vez finalizada la construcción, se realizaron pruebas de validación para asegurarse de que el banco de pruebas cumpliera con los requisitos de diseño y funcionara correctamente bajo condiciones de operación simuladas.

Se procedió a llevar el banco de pruebas a la universidad para realizar las últimas pruebas y para su respectiva aprobación, el banco de prueba finalizado en su totalidad se observa a continuación en la *Figura 3.11*:

*Figura 3.11 - Banco de pruebas entregado*



*Fuente: Díaz David ; Ordoñez Leonardo*

## **CAPÍTULO 4**

### **PROCEDIMIENTOS PARA ENSAYOS EN EMBRAGUES TIPO DISCOS DE FRICCIÓN**

Los embragues tipo disco de fricción representan componentes críticos en sistemas de transmisión mecánica, siendo fundamentales para la operatividad y eficiencia de una variedad de vehículos y maquinarias. En este capítulo, se aborda exhaustivamente la importancia de los procedimientos de ensayo aplicados a estos dispositivos, cuyo funcionamiento depende en gran medida de la calidad, resistencia y durabilidad de sus materiales. Se describirán los métodos experimentales específicos empleados para llevar a cabo estos ensayos, destacando las técnicas de preparación de muestras, los protocolos de ensayo y los parámetros cruciales medidos durante el proceso. Además, se examinarán detalladamente las condiciones ambientales y operativas que impactan significativamente en los resultados obtenidos.

#### **4.1 Pruebas Estáticas:**

##### **4.1.1 Verificación de Oscilación lateral en el disco de embrague.**

Algunos fabricantes recomiendan siempre realizar una comprobación de la excentricidad u oscilación lateral que presente un disco de embrague antes de proceder a su instalación. La marca ZF SACHS lleva a cabo esta prueba de la siguiente forma.

Se debe colocar el disco de embrague en el dispositivo de prueba y proceder a limpiarlo, esto usando una tela de esmeril o más conocido como lijas.

Colocar un reloj comparador aproximadamente a 3 mm del borde exterior del disco y hacer girar el mismo, la oscilación lateral admisible en un disco de embrague nuevo es de 0.5 mm. Esto se muestra en la *Figura 4.1*

*Figure 4.1- Comprobación de oscilación*



*Fuente : Zf aftermarket*

Para asegurar resultados más confiables se debe volver a realizar la prueba después de haber intentado alinear correctamente el disco con ayuda de golpes leves proporcionados con un martillo de goma, una vez que se verifique que el disco se encuentra alineado se procede a realizar la prueba de oscilación una última vez.

En caso de que el resultado de la prueba arroje resultados de una oscilación mayor a 0.5 mm, ese disco de embregue debe ser rectificado o en su defecto reemplazado, de otra manera si se instala el disco con esta oscilación, en un futuro el embregue no se separará correctamente. Esto producirá que la fricción sea continua en el estrecho espacio entre el disco del embregue y el volante o placa de presión dando como resultado una unión ininterrumpida entre el motor y la transmisión. (S-Performance GmbH, s.f.).

#### **4.1.2 Verificación de superficie del volante de inercia.**

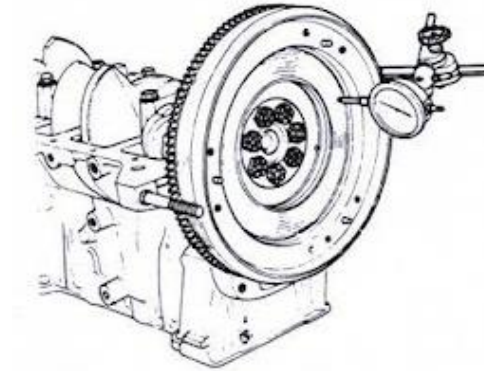
Para la realización de esta prueba se debe colocar el volante de inercia en un eje giratorio, debido al peso de este componente para mejores resultados de esta prueba, se sugiere colocar el elemento en un torno, o bien si el motor se encuentra fuera del vehículo comprobarlo ensamblado en el cigüeñal, de esta forma será más fácil centrar el mismo y así evitar lecturas erróneas.

Una vez colocado el volante de inercia y comprobar que el mismo se encuentre centrado correctamente, se ubica a este elemento al igual que en la prueba anterior, un reloj

comparador, en este caso se verifican irregularidades principalmente en donde se encuentra expuesto a fricción con el disco de embrague.

La *Figura 4.2* nos permite observar un ejemplo de cómo realizar el mencionado proceso:

*Figura 4.2 - Comprobación Volante de inercia*

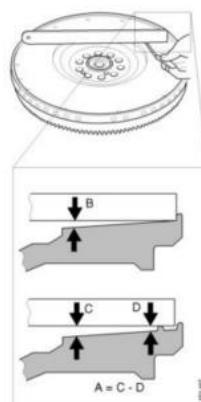


*Fuente: (Sanchez Quintero, 2016)*

Otra manera de realizar la comprobación o prueba de un volante de inercia es verificando su concavidad, esto se puede lograr usando una regla para medir planitud, las mismas que se usan para comprobar el estado de la culata de los motores, se debe ubicar sobre el volante de inercia, asegurándonos que este último se encuentre sobre una superficie totalmente nivelada.

Luego procedemos a medir las distancias entre la regla y el volante de inercia, la *Figura 4.3* nos permitirá explicar de mejor manera la tolerancia admisible en estas medidas.

*Figura 4.3 Comprobación del volante de inercia*



*Fuente: Embragues Pedreño*

Si la distancia B que se muestra, resulta ser mayor que 0,6 mm el riesgo de un desgaste prematuro en el disco es mayor.

Si el valor de A es mayor a 1 mm se debe sustituir el volante de inercia o rectificar la cara en donde asentará el nuevo disco de embrague, esto debe realizarse en un taller especializado.

## **4.2 Pruebas dinámicas**

### **4.2.1 Prueba de desgaste:**

Esta prueba implica someter al embrague a ciclos repetidos de acoplamiento y desacoplamiento para evaluar su resistencia al desgaste durante el uso continuo. Se registra el desgaste de los materiales de fricción y se analiza su impacto en el rendimiento y la vida útil del embrague.

Para la realización de esta prueba se coloca en el banco el disco al cual se le requiere evaluar, se procede a encender el banco y se simula un ciclo de trabajo de aproximadamente 10 minutos, en este periodo de tiempo se debe realizar el acople y desacople del disco de embrague múltiples veces, al final de la prueba se evaluará cual ha sido el desgaste en la superficie del disco, si la misma ha sido uniforme, y si en algún momento el disco se quedó adherido al volante de inercia.

Se requerirá de herramientas de medición de precisión como un micrómetro y/o un calibrador pie de rey.

### **4.2.2 Prueba de durabilidad:**

Consiste en someter el embrague a condiciones de carga y velocidad variables durante un período prolongado para simular el uso real en condiciones de conducción. Se evalúa la capacidad del embrague para soportar condiciones extremas y su resistencia a la fatiga estructural y térmica.

El procedimiento por realizar con el banco de pruebas consiste en aplicar una presión constante sobre el disco, cabe mencionar que esta prueba se ha de realizar con un disco ya desgastado, puesto que se llevará el material hasta el límite de su resistencia al desgaste, para

después analizar el estado de este y comparar sus características y dimensiones con discos de embrague en buen estado.

#### **4.2.3 Prueba de enganche y desenganche:**

Se realizan pruebas para evaluar la respuesta del embrague al proceso de enganche y desenganche, incluyendo la velocidad de respuesta, la suavidad de la operación y la uniformidad del acoplamiento. Esto es importante para garantizar un rendimiento óptimo del embrague y una experiencia de conducción confortable.

*Figura 4.4 Acople y Desacople del sistema de embrague*



*Fuente: Díaz David; Ordoñez Leonardo*

Se sigue el procedimiento habitual en el banco de pruebas, en este caso en cambio se evaluará únicamente la eficiencia de accionamiento del plato de presión del kit de embrague que se encuentre en evaluación, para obtener resultados óptimos se deben simular ciclos de trabajo correctos, es decir accionando de manera adecuada el embrague para evidenciar si el desempeño es adecuado.



## CAPÍTULO 5

### RESULTADOS DE LAS PRUEBAS REALIZADAS EN EL BANCO DE PRUEBAS

En este capítulo final, se presentan y analizan los resultados obtenidos a partir de las pruebas realizadas en el banco de pruebas para embragues. Estas pruebas representan un paso crucial en la evaluación y validación del rendimiento de los embragues bajo condiciones controladas de funcionamiento. El análisis detallado de los datos recopilados proporciona una visión profunda sobre diversos aspectos clave, incluyendo la resistencia, la durabilidad y la eficiencia operativa de los embragues en diferentes escenarios de carga y velocidad. Los resultados discutidos aquí no solo ofrecen datos significativos para la optimización de diseños futuros, sino que también contribuyen al conocimiento académico y técnico en el campo de la ingeniería de embragues.

#### 5.1 Resultados de la prueba de desgaste:

Para la realización de las pruebas de desgaste en cada disco, el procedimiento será el mismo. R.P.M. de motor simuladas: 1600.

Ciclo de operación total del kit: 10 min.

Número de acoplamientos y desacoplamientos: por lo menos 20 accionamientos.

*Tabla 5.1 – Resultados de la prueba de desgaste Citroën Berlingo*

<b><u>Prueba de desgaste Disco Citroën Berlingo 2006</u></b>	<b>Compuesto: Orgánico (carbono)</b>	<b>Desgaste en la superficie del disco:</b>
Grosor del disco antes de la prueba: 3.5 mm	Grosor del disco después de la prueba: 3.1 mm	Desgaste total en la superficie del disco: 0.4 mm
Observación de anomalías en el desgaste o desgaste irregular en la superficie del disco:	Se observó un desgaste irregular en la superficie del disco, atribuido a que el material de fricción ha cumplido su vida útil.	

Observación de anomalías en el sistema de acople o desacople del disco:	La presión no se repartía de manera uniforme en toda la superficie del disco, lo que ocasionó que en tres ocasiones el sistema no logre desacoplar totalmente la transmisión de movimiento de los ejes.
---	---

*Fuente: Diaz David ; Ordoñez Leonardo*

*Tabla 5.2 - Resultados de la prueba de desgaste Honda civic*

<u>Prueba de desgaste Disco Honda Civic 2008</u>	Compuesto: Cerámico	Desgaste en la superficie del disco:
○ Grosor del disco antes de la prueba: 3.2 mm	○ <b>Grosor del disco después de la prueba: 2.9 mm</b>	○ Desgaste total en la superficie del disco: 0.3 mm
Observación de anomalías en el desgaste o desgaste irregular en la superficie del disco:	El desgaste fue totalmente regular.	
Observación de anomalías en el sistema de acople o desacople del disco:	Se observó que al momento de soltar el accionamiento la transmisión de las revoluciones se restauró de una forma un poco violenta o fuerte	

*Fuente: Diaz David ; Ordoñez Leonardo*

*Tabla 5.3 - Resultados de la prueba de desgaste Kia Picanto*

<u>Prueba de desgaste Disco Kia Picanto 2023</u>	Compuesto: Orgánico (Carbón)	Desgaste en la superficie del disco:
○ Grosor del disco antes de la prueba: 3.0 mm	○ <b>Grosor del disco después de la prueba: 2.7 mm</b>	○ Desgaste total en la superficie del disco: 0.3 mm
Observación de anomalías en el desgaste o desgaste irregular en la superficie del disco:	El desgaste fue regular, sin embargo, se debe mencionar que, con un compuesto cerámico, se obtendría una superficie menos alterada en la pared del volante de inercia.	

Observación de anomalías en el sistema de acople o desacople del disco:	Ninguna anomalía.
---	-------------------

*Fuente: Diaz David ; Ordoñez Leonardo*

## 5.2 Resultados de la prueba de durabilidad:

Procedimiento:

Para la realización de las pruebas de durabilidad en cada disco, el procedimiento será el mismo.

Se deben instalar en el banco de pruebas discos que han sido usados y que han tenido que ser reemplazados por motivos como: desgaste excesivo y sobrecalentamiento de componentes.

R.P.M. de motor simuladas: 1600.

Ciclo de operación total del kit: 5 min.

Accionar el embrague de tal manera que se produzca la mayor cantidad de fricción posible en el disco.

Esta prueba se encuentra fundamentada en base a la teoría de la fatiga de materiales debido a cargas cíclicas

*Tabla 5.4 - Prueba durabilidad Citroën Berlingo*

<u>Prueba de durabilidad Disco Citroën Berlingo 2006</u>	Compuesto: Orgánico (Carbón)
○ Grosor del disco nuevo: 3.5 mm	○ Grosor del disco usado: 3.1 mm
○ Km de uso del disco usado: 50,000 km	○ Parámetros evaluados: Resistencia al sobrecalentamiento, pérdida de fricción después de 30,000 km.

*Fuente: Diaz David; Ordoñez Leonardo*

*Tabla 5.5 - Prueba durabilidad Honda civic*

<u>Prueba de durabilidad Disco Honda Civic 2008</u>	Compuesto: Cerámico
---	---------------------

○ Grosor del disco nuevo: 3.2 mm	○ Grosor del disco usado: 2.9 mm
○ Km de uso del disco usado: 60,000 km	○ Parámetros evaluados: Desgaste bajo condiciones de alta carga, pérdida de la fricción durante 40,000 km.

*Fuente: Diaz David; Ordoñez Leonardo*

*Tabla 5.6 - Prueba durabilidad Kia Picanto*

<u>Prueba de durabilidad Disco Kia Picanto 2023</u>	○ Compuesto: Orgánico (Carbón)
○ Grosor del disco nuevo: 3.0 mm	○ Grosor del disco usado: 2.7 mm
○ Km de uso del disco usado: 45,000 km	○ Parámetros evaluados: Durabilidad en condiciones de tráfico urbano, pérdida de material de fricción en exceso después de 35,000 km, y análisis del desgaste en aplicaciones de frenado continuo.

*Fuente: Diaz David; Ordoñez Leonardo*

### **5.3 Resultados de la prueba de enganche y desenganche:**

Procedimiento:

Para la realización de las pruebas de durabilidad en cada disco, el procedimiento será el mismo.

RPM simulados: 1600

Ciclo de operación total del kit: 5 minutos

Parámetros adicionales: Evaluación del tiempo de respuesta, fuerza de enganche/desenganche, y ruido/vibración durante el acople y desacople.

*Tabla 5.7 - Prueba de enganche y desenganche del disco Citroën Berlingo*

<u>Prueba de enganche y desenganche del disco Citroën Berlingo 2006:</u>	
Observaciones:	○ Tiempo de respuesta: 1.2 segundos

○ Fuerza de enganche/desenganche: 150 N	○ Ruido/vibración: Nivel medio de ruido y vibración, con irregularidades debido al desgaste desigual del disco.
--	---

*Fuente: Diaz David; Ordoñez Leonardo*

*Tabla 5.8 - Prueba de enganche y desenganche del disco Honda Civic*

<u>Prueba de enganche y desenganche del disco Honda Civic 2008:</u>	
Observaciones:	○ Tiempo de respuesta: 1.0 segundos
○ Fuerza de enganche/desenganche: 140 N	○ Ruido/vibración: Alto nivel de ruido y vibración, indicando problemas en la uniformidad del acople.

*Fuente: Diaz David ; Ordoñez Leonardo*

*Tabla 5.9 - Prueba de enganche y desenganche del disco Kia Picanto.*

<u>Prueba de enganche y desenganche del disco Kia Picanto 2023:</u>	
Observaciones:	○ Tiempo de respuesta: 0.8 segundos
○ Fuerza de enganche/desenganche: 130 N	○ Ruido/vibración: Bajo nivel de ruido y vibración, con acople y desacople suaves y uniformes.

*Fuente: Diaz David ; Ordoñez Leonardo*

## CONCLUSIONES

- Concluidas las diferentes etapas de este proyecto, se establecieron características constructivas claras, se diseñó y construyó el banco de pruebas y se establecieron procedimientos para ensayos que caracterizaron con precisión los embragues.
- Se logró un diseño detallado de los principales componentes del banco de pruebas, incluyendo el volante de inercia, el disco de fricción y el plato de presión. Estos componentes fueron modelados utilizando el software Inventor, lo que permitió simular su comportamiento bajo diversas condiciones de tensión y carga.
- La selección de materiales fue realizada cuidadosamente para asegurar la resistencia y durabilidad de la estructura del banco de pruebas. Se optó por acero de transmisión AISI 1018 para los ejes y acero negro para componentes principales, asegurando que las partes estructurales pudieran soportar las cargas generadas durante las pruebas.
- La construcción del banco de pruebas se llevó a cabo en tres fases principales: mecanizado de ejes, fabricación de la estructura y adecuación del sistema de transmisión por poleas. Cada fase fue completada con precisión, asegurando la calidad del ensamblaje y la funcionalidad del banco de pruebas.
- El análisis estructural y las pruebas de carga confirmaron que la estructura del banco de pruebas es robusta y capaz de soportar las condiciones operativas previstas. Esto garantiza la seguridad y fiabilidad del equipo durante su uso en pruebas continuas.

## RECOMENDACIONES

- **Mantenimiento regular del banco de pruebas:** Para asegurar un funcionamiento óptimo y prolongar la vida útil del banco de pruebas, es fundamental establecer un plan de mantenimiento regular. Esto incluye inspecciones periódicas, lubricación de componentes móviles y verificación de las conexiones eléctricas.
- **Capacitación continua:** Se recomienda capacitar continuamente a los estudiantes y usuarios del banco de pruebas en su operación y mantenimiento. Esto garantizará un uso adecuado del equipo y maximizará su efectividad como herramienta educativa y de investigación.
- **Actualización tecnológica:** A medida que avanza la tecnología, es importante considerar futuras actualizaciones y mejoras al banco de pruebas. La incorporación de sensores avanzados y sistemas de adquisición de datos más sofisticados puede aumentar la precisión y el alcance de las pruebas realizadas.
- **Extensión de aplicaciones:** Explorar la posibilidad de adaptar el banco de pruebas para la caracterización de otros tipos de embragues o componentes de transmisión puede ampliar su utilidad y proporcionar datos valiosos para una variedad más amplia de investigaciones y aplicaciones industriales.
- **Colaboración con la industria:** Fomentar la colaboración con empresas del sector automotriz puede enriquecer las investigaciones y proporcionar recursos adicionales para el desarrollo y mejora continua del banco de pruebas. Esto también puede abrir oportunidades para proyectos conjuntos y prácticas profesionales para los estudiantes.

## **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.**

- [1] Cascante Santos, F. F. (2014). Diseño, construcción y validación de componentes mediante cálculos, de un banco de pruebas para embragues, para la implementación en el laboratorio de la Escuela de Ingeniería Automotriz (Bachelor's thesis, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo).
- [2] Córdova Valverde, A. S., & Montenegro Sigüenza, J. F. (2018). Diseño y construcción de un dispositivo para establecer la eficiencia del embrague en vehículos a propulsión (Bachelor's thesis).
- [3] Choi, J. (2017). Friction: An introduction to tribology. CRC Press.
- [4] Heywood, J. B. (1988). Internal Combustion Engine Fundamentals. McGraw-Hill Education.
- [5] Padrón Correa, R. J., & Ávila Heras, J. C. (2010). Diseño y construcción de un banco de pruebas para embragues de disco a fricción con visualización de datos de su funcionamiento para el laboratorio de tren de fuerza motriz y rehabilitación de las maquetas existentes (Bachelor's thesis).
- [6] Pulkrabek, W. W. (2004). Engineering Fundamentals of the Internal Combustion Engine. Pearson Education.
- [7] Singh, G. (2015). Automotive Mechanics. S. Chand Publishing.
- [8] Society of Automotive Engineers (SAE). (2010). Principles of Manual Transmission and Transaxles.
- [9] Valverde, A.E., & Sigüenza, J.F. (2018). Diseño y construcción de un dispositivo para establecer la eficiencia del embrague en vehículos a propulsión.
- [10] Xie, M., Wang, L., & Huang, Y. (2021). Design and Performance Study of Clutch Disc Assembly of Wide-Angle, Large-Hysteresis, Multistage Damper. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 34, 1-13.



- [11] S-Performance GmbH. (s.f.). Performance Kupplung & Fahrwerk von SACHS Performance. <https://www.sachsperformance.com/es/sachs-service-comprobacion-de-los-discos-de-embrague>
- [12] Caja de cambios.<https://www.pngwing.com/en/free-png-tvzuv>. Consultado: 2020-06-10.
- [13] <https://impocali.com/sabias-que-existen-dos-tipos-de-volante-de-motor/>
- [14] MANUAL SACHS DE EMBRAGUES. *Grupo editorial Sachs publicaciones argentina, año 2005.*
- [15] <https://www.autodoc.es/sachs/7141457>
- [16] BEER, Ferdinand P. y JOHNSTON, E. Russel. (2018). Mecánica de materiales, 8va edición
- [17] Rubiano Salamanca, H. Y., & Abril Aguirre, C. A. (2019). Diseño y construcción de un banco de pruebas para la guaya embrague del Hyundai Atos.
- [18] DE LA BARQUERA, I. R. S., HERRERA, E. P., & RAZO, J. A. M. (2022). Análisis para validación de parámetros del proceso de conformación del retén candelero para embrague (Formulación matemática, Simulación y Evaluación Experimental). *Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica “RIIIT”*, 10(57), 55-69.
- [19] Castaño Fuentes, F. J. (2017). Estudio, diseño e implementación del embrague y sistema de cambio de un monoplaza para la competición de Formula Student.
- [20] Polo, B. P. (2019). Materiales de fricción de metal sinterizado base cobre: Influencia de sus constituyentes en el procesamiento y propiedades tribológicas (Doctoral dissertation, Universidad de Navarra).
- [21] Baquero Cachumba, J. O., & Chimborazo Taipe, L. D. (2014). Artículo Científico- Diseño y construcción de un sistema de accionamiento de mandos de aceleración, embrague y frenos en un vehículo prototipo para conducción de personas con discapacidad.
- [22] Velaochaga Carpio, J. C. (2022). Diseño de embrague de vehículo Hyundai Accent 2013 para aumentar su vida útil en 100000 Km.

- [23] Uribe Alzate, J. C. (2015). Renovación Tecnológica de la Línea de Remachado Para Discos de Embrague.
- [24] Andrade López, A. A. (2012). Diseño y construcción de un sistema didáctico de freno y embrague (Doctoral dissertation, Universidad de El Salvador).
- [25] Eslami, M. R. (2013). *Theory of Elastic Stability* (2nd ed.). Springer.
- [26] Gere, J. M., & Goodno, B. J. (2012). *Mechanics of Materials* (8th ed.). Cengage Learning.
- [27] Hibbeler, R. C. (2014). *Structural Analysis* (9th ed.). Pearson.
- [28] Budynas, R. G., & Nisbett, J. K. (2011). *Shigley's Mechanical Engineering Design* (9th ed.). McGraw-Hill Education.
- [29] Beer, F. P., & Johnston, E. R. (2009). *Vector Mechanics for Engineers: Statics and Dynamics* (9th ed.). McGraw-Hill Education.