

Estudio e Implementación para el Mejoramiento del Banco de Freno/Embrague  
Electromagnético del Laboratorio de Diseño de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la  
Universidad Industrial de Santander

Donaldo Andrés Alvarado Cáceres

Diego Alexander Guevara Manrique

Trabajo De Grado Para Optar Al Título De Ingeniero Mecanico

Director

MSc. Ricardo Alfonso Jaimes Rolón

Ingeniero Mecánico

Universidad Industrial De Santander  
Facultad De Ingenierías Fisicomecánicas  
Escuela De Ingeniería Mecánica  
Bucaramanga

2024

### **Dedicatoria**

A mi padre, por ser el ángel que ilumina mi camino cada día, por haberme enseñado trabajar, a luchar por lo que se quiere, y por haber sido un excelente ejemplo en mi vida.

A mi madre, por su apoyo incondicional, por toda la paciencia que me tuvo desde pequeño hasta ahora.

A mis hermanos, por el apoyo y la compañía.

A mi abuela por dame buenos consejos sobre la vida para llegar lejos, enseñarme el valor de la familia.

### **Agradecimientos**

A la Universidad Industrial de Santander por ofrecer espacios propicios para el desarrollo, la investigación y el aprendizaje, los cuales me han permitido crecer como persona.

A la Escuela de Ingeniería Mecánica por su compromiso con la excelencia académica y por guiarme en mi formación profesional, en especial al ingeniero Ricardo Alfonso Jaimes por su apoyo y colaboración en la culminación de esta investigación.

A todas las personas que contribuyeron al desarrollo de este trabajo y a quienes aportaron su conocimiento, esfuerzo y disponibilidad, siendo guías y colaboradores esenciales para llevar a cabo este proyecto.

A mis familiares, que siempre fueron un apoyo y motivación incondicional.

## Glosario

**Electromagnético:** Relativo a la interacción de campos eléctricos y magnéticos, esencial en el funcionamiento de frenos y embragues en este proyecto.

**Banco de pruebas:** Dispositivo utilizado para la experimentación y validación de sistemas de freno y embrague.

**Arduino:** Plataforma de hardware libre basada en una placa con un microcontrolador y un entorno de desarrollo integrado (IDE).

**PWM (Pulse Width Modulation):** Técnica utilizada para regular la potencia suministrada a las bobinas en el sistema de embrague-freno.

**Encoder:** Dispositivo utilizado para medir la velocidad y la posición angular en sistemas rotativos.

**HMI (Human-Machine Interface):** Interfaz gráfica que permite la interacción entre el usuario y el sistema de control del banco de pruebas.

**Bobinas:** Componentes electromagnéticos que generan un campo magnético al ser energizadas, utilizadas en frenos y embragues.

**Inercia:** Propiedad física que describe la resistencia de un objeto a cambiar su estado de movimiento.

**Par torsional:** Medida de la fuerza de torsión aplicada sobre un objeto, fundamental en el análisis de frenos y embragues.

**Fricción:** Resistencia al movimiento entre dos superficies en contacto, utilizada en el mecanismo de frenado y embrague.

**Temperatura de equilibrio:** Temperatura a la que el sistema alcanza un estado estable durante la disipación de calor en el funcionamiento del freno y embrague.

**Voltaje:** Medida de la diferencia de potencial eléctrico, crucial para el funcionamiento de las bobinas electromagnéticas.

**Curvas de igualación:** Gráficas que representan el comportamiento de la fuerza aplicada y la respuesta del sistema de freno-embrague.

**Matlab:** Entorno de programación y cálculo numérico utilizado en el análisis y diseño de sistemas.

**Simulación:** Técnica que utiliza modelos matemáticos para replicar el comportamiento de un sistema real en un entorno virtual.

**Fuente de alimentación:** Dispositivo que suministra energía eléctrica al sistema de embrague-freno.

**Control de fuerza:** Mecanismo que regula la intensidad de la fuerza aplicada por las bobinas en el sistema.

**Calibración:** Proceso de ajuste de los sensores y dispositivos para garantizar mediciones precisas y confiables.

**Gráficas de aceleración:** Representaciones visuales de la velocidad angular y la fuerza aplicada durante el funcionamiento del sistema.

**Sensor infrarrojo:** Dispositivo que utiliza luz infrarroja para detectar la presencia y movimiento de objetos, utilizado en la medición de velocidad.

**Impresora 3D:** Herramienta utilizada para crear modelos físicos a partir de diseños digitales, aplicable en la fabricación de componentes del banco de pruebas.

**Interfaz gráfica de usuario (GUI):** Plataforma visual que facilita la interacción del usuario con el software de control del sistema.

**Medición de velocidad:** Proceso de determinar la rapidez de rotación de un componente del sistema.

## Contenido

Resumen	11
Abstract	12
Introducción .....	13
1.1 Formulación del problema .....	14
1.2 Antecedentes .....	15
1.2.1 diseño y construcción de un banco experimental de freno y Embrague para el estudio del comportamiento energético, (Camilo, 2017) .....	15
1.3 Justificación .....	16
2. Objetivos .....	17
2.1 General .....	17
2.2 Específicos .....	17
3. Marco teórico .....	18
3.1 Referentes teóricos.....	18
3.2 Fundamentos de Frenos y Embragues .....	18
3.3 Tipos de Embragues y Frenos (Mott, 2010) .....	20
3.3.1 Embragues de Disco .....	20
3.3.2 Embragues de Fricción .....	21
3.3.3 Embragues Cónicos .....	21
Frenos de tambor.....	22
3.3.4 Embragues Hidráulicos .....	23
3.3.5 Embragues neumáticos. ....	24
3.3.6 Embragues electromagnéticos .....	25

3.4 Criterios de Operación ..... 25

3.5 Determinación del Tiempo de Aceleración de la Carga ..... 27

3.6 Gestión de Energía: Requisitos de Disipación de Calor ..... 29

3.7 Tiempo de Reacción ..... 29

3.8 Técnicas de Análisis para Frenos y Embragues..... 30

3.8.1 Desgaste Uniforme..... 31

3.8.2 Presión Constante..... 32

3.9 Principios del Electromagnetismo ..... 33

3.9.1 Solenoide..... 33

3.9.2 Magnetismo Inducido por Corrientes ..... 33

3.10 Magnetización Inducida..... 35

3.11 Almacenamiento de Energía Magnética ..... 37

3.12 Influencias en el funcionamiento de los electroimanes ..... 37

3.12.1 Aumento Térmico en Electroimanes ..... 37

4. Fase Conceptual del Diseño..... 38

4.1 Requerimientos ..... 40

4.2 Especificaciones de Diseño..... 40

4.3 Sistema de Interfaz para Banco de Prueba de Freno y Embrague ..... 41

4.3.1 Especificaciones para el Diseño de la Interfaz de Comunicación ..... 42

4.2.1. Principios de Operación de un Encoder Rotativo ..... 45

5. Metodología ..... 47

5.1 Reporte del estado del banco ..... 47

5.2 Análisis de Bobinas..... 48

5.3 Caracterización Modulada por PWM .....	50
5.4 Diseño de Sistema de Medición de Velocidad .....	53
5.4.1 Discos ranurados.....	53
5.4.2 Funcionamiento y Aplicaciones del Sensor de Ranura Tipo Herradura.....	54
5.4.3 Evaluación y Ajuste del Módulo de Velocidad .....	55
5.5 Desarrollo de la Interfaz Humano-Máquina (HMI).....	57
5.5.1 Panel de control.....	57
5.5.2 Operaciones de Procesamiento de Datos. ....	59
5.6 Interfaz en Excel.....	60
5.7 Prácticas de laboratorio.....	61
5.7.1 Practica No1: Operación del banco freno embrague .....	61
5.7.2 Practica No2: Ensayo estático.....	62
5.7.3 Practica No3: Inercia y curvas de igualación.....	62
5.7.4 Practica No4: Variación de la fuerza .....	62
5.8 Validación de funcionamiento por medio de comparación grafica .....	63
5.9Análisis de costos.....	67
6. Conclusiones .....	69
Bibliografía	71
Anexos	73

**Lista de figuras**

Figura 1 Esquema de un freno embrague .....	19
Figura 2 Embrague de disco simple.....	21
Figura 3 Embrague cónico .....	22
Figura 4 Tambor interno externo. ....	22
Figura 5 Embrague hidráulico .....	23
Figura 6 Activación de un embrague neumático .....	24
Figura 7 Embrague o freno de placa con accionamiento electromagnético .....	25
Figura 8 Torque.....	28
Figura 9 Ciclo de Operación de Embrague y Freno .....	30
Figura 10 Disco de fricción.....	31
Figura 11 Solenoide .....	33
Figura 12 Toroide de N vueltas. ....	35
Figura 13 Comportamiento Magnético de Materiales Ferromagnéticos .....	36
Figura 14 Boceto del Banco para Frenos y Embragues Electromagnéticos .....	39
Figura 15 Bosquejo de la Interfaz de Comunicación.....	42
Figura 16 Matriz selección de alternativas interfaz de comunicación.....	44
Figura 17 Comunicación Arduino-Excel .....	45
Figura 18 Principios de Operación de un Encoder .....	46
Figura 19 Estado inicial del banco.....	47
Figura 20 caracterización bobinas .....	49
Figura 21 Correlación entre voltaje y fuerza .....	50
Figura 22 Placa moduladora de PMW .....	51

Figura 23 Gráfica PWM vs voltaje ..... 52

Figura 24 Relación de la fuerza en función de la señal PWM..... 52

Figura 25 Disco ranurado..... 53

Figura 26 Esquema de conexión del módulo sensor de velocidad. .... 55

Figura 27 pruebas de los dos sensores ..... 56

Figura 28 Panel de control. .... 57

Figura 29 Ventana de interfaz Excel..... 60

Figura 30 grafica anterior versión..... 63

Figura 31 Grafica nueva versión sin masa..... 64

Figura 32 Grafica nueva versión con masa 1 ..... 65

Figura 33 Grafica nueva versión con masa 2..... 65

**Lista de tablas**

Tabla 1 Lecturas de Sensores Transmitidas por Arduino ..... 56

Tabla 2 Análisis del Porcentaje de Error en las Lecturas de RPM ..... 56

Tabla 3 Análisis de costos..... 67

**Lista de anexos**

Anexo A Reporte detallado del banco freno/embrague ..... 73

Anexo B Análisis del circuito modulador de fuerza ..... 81

Anexo C enlace de descarga carpeta interfaz VBA ..... 85

Anexo D manual del banco ..... 86

Anexo E Practicas de laboratorio ..... 93

## Resumen

**Título:** Estudio e implementación para el mejoramiento del banco de freno/embrague electromagnético del laboratorio de diseño de la escuela de ingeniería mecánica de la Universidad Industrial de Santander

**Autor:** Donaldo Andres Alvarado Cáceres, Diego Alexander Guevara Manrique

**Palabras Clave:** Freno, Embrague, Enconder, Arduino, Excel

El proyecto de reestructuración e implementación del banco experimental de freno/embrague electromagnético en la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad Industrial de Santander tiene como objetivo mejorar el aprendizaje práctico de los estudiantes. Con el tiempo, el banco ha sufrido un deterioro significativo, afectando su funcionalidad y utilidad didáctica. Este proyecto busca restaurar y actualizar el banco para que vuelva a ser una herramienta eficaz en la educación de los estudiantes de ingeniería mecánica.

El proyecto abarca varias etapas clave: diagnóstico del estado actual del banco, diseño de una nueva interfaz de comunicación compatible con Arduino, mejoras en los componentes electromagnéticos y la creación de nuevas experiencias de laboratorio. El diagnóstico inicial reveló problemas en el cableado, las bobinas y los sensores, que fueron reparados o reemplazados. Se implementó una interfaz de usuario amigable para la transmisión y visualización de datos en tiempo real, crucial para el análisis de resultados experimentales.

La metodología incluye la evaluación de los componentes del banco, el diseño y desarrollo de la nueva interfaz de usuario y la validación del sistema mediante pruebas comparativas. Además, se diseñaron cuatro prácticas de laboratorio para que los estudiantes experimenten con variables como la fuerza de embrague, la inercia, complementando así los conocimientos teóricos y fomentando habilidades prácticas.

### **Abstract**

**Title:** Study and Implementation for the Improvement of the Electromagnetic Brake/Clutch Bench in the Design Laboratory of the School of Mechanical Engineering at the Industrial University of Santander

**Author:** Donaldo Andres Alvarado Caceres, Diego Alexander Guevara Manrique

**Keywords:** Brake, Clutch, Encoder, Arduino, Excel

The project for the restructuring and implementation of the experimental electromagnetic brake/clutch bench at the School of Mechanical Engineering at the Industrial University of Santander aims to enhance students' practical learning. Over time, the bench has deteriorated significantly, affecting its functionality and educational usefulness. This project seeks to restore and update the bench to become an effective tool in the education of mechanical engineering students.

The project includes several key stages: diagnosing the current state of the bench, designing a new communication interface compatible with Arduino, improving electromagnetic components, and creating new laboratory experiences. The initial diagnosis revealed problems with the wiring, coils, and sensors, which were repaired or replaced. A user-friendly interface for real-time data transmission and visualization was implemented, crucial for analyzing experimental results.

The methodology involves evaluating the bench components, designing and developing the new user interface, and validating the system through comparative tests. Additionally, four laboratory practices were designed for students to experiment with variables such as clutch force, inertia, thus complementing theoretical knowledge and fostering practical skills.

## **Introducción**

La ingeniería mecánica es una disciplina que se basa en la aplicación de principios físicos para el análisis, diseño, fabricación y mantenimiento de sistemas mecánicos. Uno de los aspectos fundamentales de esta disciplina es la experimentación práctica, que permite comprender mejor los conceptos teóricos y aplicarlos en situaciones del mundo real.

En la Universidad Industrial de Santander, la Escuela de Ingeniería Mecánica cuenta con un banco experimental de freno/embrague electromagnético. Este banco es una herramienta valiosa para el aprendizaje de los estudiantes, ya que les permite experimentar de primera mano con estos dispositivos. Sin embargo, con el paso del tiempo, el banco ha sufrido un deterioro considerable, lo que ha afectado su funcionamiento y, por ende, su utilidad didáctica.

Este proyecto tiene como objetivo general reestructurar e implementar el banco experimental de freno/embrague electromagnético para mejorar el aprendizaje de los estudiantes de ingeniería mecánica.

### **1.1 Formulación del problema**

El banco experimental de freno y embrague para el estudio del comportamiento energético del laboratorio de diseño, situado en la escuela de ingeniería mecánica de la universidad industrial de Santander, actualmente se encuentra en un estado de deterioro. Lo cual conlleva a que los estudiantes se vean afectados, al no poder realizar prácticas enriquecedoras de aprendizaje, que ayuden a complementar por medio de una experimentación práctica, los conocimientos adquiridos en las aulas de clase.

El banco al no estar en óptimas condiciones no proporciona resultados significativos ni confiables sobre el comportamiento energético de frenos y embrague, ya que no cuenta con una interfaz programada que permita transmitir la información a un sistema de cómputo, para la visualización de los datos (graficas) tomados en la práctica.

¿Cómo se puede estudiar e implementar el banco experimental de freno y embrague en el laboratorio de diseño de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad Industrial de Santander para mejorar el aprendizaje de los estudiantes de ingeniería mecánica mediante la experimentación práctica?

## 1.2 Antecedentes

### *1.2.1 diseño y construcción de un banco experimental de freno y Embrague para el estudio del comportamiento energético, (Camilo, 2017)*

La implementación de este proyecto se lleva a cabo en la ciudad de Bucaramanga y su objetivo principal es Continuar con la misión de la Universidad Industrial de Santander contribuyendo con la formación académica de los estudiantes de Ingeniería Mecánica, mediante el diseño y la construcción de un banco experimental de frenado y embragado, para que el estudiante conozca y comprenda los fenómenos asociados al intercambio energético que ocurre durante el funcionamiento de frenos y embragues axiales operados electromagnéticamente.

Finalmente se llega a la conclusión se ha demostrado que el banco llega a ser una herramienta educativa valiosa, alineándose con los principios teóricos impartidos en el curso de Diseño de Máquinas II. Esta iniciativa ha permitido una interacción directa y práctica con los procesos físicos que tienen lugar en sistemas de frenos y embragues. Tal experiencia práctica ha despertado la curiosidad y el interés de los estudiantes en estos mecanismos, lo cual es un cambio significativo, ya que antes no se contaba con los medios adecuados para tal fin, y estos dispositivos no se consideraban tan relevantes para el aprendizaje.

### **1.3 Justificación**

La implementación de un banco de freno/embrague electromagnético contribuye con la ingeniería mecánica en mejoras tecnológicas para el aprendizaje, como una interfaz programada para la transmisión de datos y visualización en sistemas de cómputo, y no quedándose con los métodos convencionales, lo cual sitúa a la universidad a la vanguardia de la tecnología educativa. Esto no solo beneficia a los estudiantes, sino que también atrae a investigadores interesados en el tema, además Los resultados de los experimentos pueden utilizarse para optimizar los diseños de frenos y embragues, permitiendo a los ingenieros mejorar la eficiencia y la durabilidad de estos sistemas en aplicaciones industriales.

Un laboratorio bien equipado y funcional es esencial para proporcionar una educación de calidad a los estudiantes de ingeniería mecánica de la UIS. La experimentación práctica complementa los conocimientos teóricos aprendidos en clase, lo cual ayuda a los estudiantes a comprender y aplicar todos estos conceptos de manera más efectiva. Por el estado actual del banco limita la capacidad de los estudiantes para realizar prácticas de laboratorio enriquecedoras, lo cual puede afectar su formación académica.

Mejorar las condiciones del banco freno embrague de la escuela de ingeniería mecánica, Aumenta drásticamente la competitividad académica tanto a nivel nacional como internacional, lo cual es muy bueno porque puede atraer más estudiantes e incluso fondos e investigación y colaboraciones académicas.

## 2. Objetivos

### 2.1 General

Reestructurar e implementar el banco experimental de freno/embrague electromagnético, en el laboratorio de diseño de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad Industrial de Santander para el mejorar el aprendizaje de los estudiantes de ingeniería mecánica mediante la experimentación práctica en estos dispositivos.

### 2.2 Específicos

Elaborar un reporte detallado sobre las deficiencias del banco experimental de freno embrague electromagnético, y el deterioro de las piezas de este con el fin de garantizar el correcto funcionamiento.

Proponer las siguientes mejoras en el banco freno/embrague electromagnético, tales como:

Diseñar una interfaz de comunicación compatible con Arduino, que permita ver los datos obtenidos en tiempo real y no sea obsoleto ante nuevas actualizaciones.

Implementar nuevas experiencias de laboratorio variando parámetros modificables del banco, tales como la fuerza de embrague, la geometría y masa; para enriquecer los conocimientos de freno y embrague.

Validar el correcto funcionamiento del banco mediante pruebas, para garantizar que el banco experimental proporcione resultados lógicos y confiables, por medio de la comparativa de graficas de la anterior versión, con las generadas por la nueva versión.

Realizar un análisis de costos para determinar la viabilidad del proyecto.

### **3. Marco teórico**

En este ítem se presentan los conceptos teóricos necesarios para comprender a profundidad los objetivos de la investigación. Los conceptos teóricos fundamentales brindan un marco conceptual y analítico para guiar el estudio y establecer conexiones con teorías existentes.

#### **3.1 Referentes teóricos**

Los embragues y frenos electromagnéticos son dispositivos accionados por medio de electricidad para transmitir un torque mecánico. Los embragues y frenos electromagnéticos comparten principios de funcionamiento muy parecidos. Los embragues electromagnéticos se activan mediante la aplicación de corriente directa a la bobina, generando un campo magnético que atrae electromagnéticamente el disco de anclaje hacia el buje conductor de entrada, que está revestido con un material de fricción. Esto facilita la transmisión del torque desde el disco de entrada al de salida (Srl, s. f.). por otro lado, los frenos electromagnéticos emplean la fuerza de frenado a través de resortes que son activados por fuerzas electromagnéticas (Frenos y embragues KEB, 2019).

#### **3.2 Fundamentos de Frenos y Embragues**

Los frenos y los embragues son componentes de maquinaria que aprovechan la fricción de manera beneficiosa. Un embrague tiene dos funciones principales: en primer lugar, debe permitir un incremento gradual de la velocidad para que la velocidad del sistema pueda alcanzar la del eje impulsor sin impacto; en segundo lugar, debe funcionar como un acoplamiento sin deslizamiento o pérdida de velocidad en el eje impulsor cuando ambos ejes giran a la misma velocidad. Por ejemplo, en los vehículos con transmisión manual, se necesita un embrague para desconectar el movimiento del motor del movimiento de las ruedas cada vez que se cambia de velocidad, sin tener que apagar el motor.

Por otro lado, un freno se utiliza para detener un sistema en movimiento, reducir su velocidad o controlar su velocidad hasta un valor determinado bajo condiciones variables, convirtiendo la energía mecánica en calor. El diseño de frenos y embragues depende de las incertidumbres sobre el valor del coeficiente de fricción. (Hamrock et al., 2000)

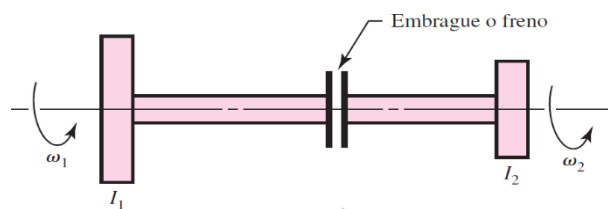
En la Figura 2 se muestra una representación dinámica simplificada de un embrague o freno de fricción; dos inercias,  $I_1$  e  $I_2$ , que se mueven a velocidades angulares  $\omega_1$  y  $\omega_2$  respectivamente. En ambos casos, de frenado y embragado, se busca igualar estas velocidades. La diferencia es que en el frenado una velocidad debe ser cero, es decir, no habrá movimiento, y en el embragado habrá una velocidad de referencia distinta de cero a la que se quiere llevar la carga. Por lo tanto, al haber movimiento relativo, en ambos casos se produce deslizamiento debido a que los dos elementos giran a velocidades diferentes, pero también se produce una disipación de energía, lo que provoca un aumento de temperatura.

Los parámetros que se consideran para el rendimiento de estos dispositivos son:

- La fuerza de accionamiento.
- El par de torsión transmitido.
- La transferencia de energía.

El aumento de temperatura. (Shigley et al., 2019)

**Figura 1 Esquema de un freno embrague**



Fuente: (Shigley et al., 2019)

### 3.3 Tipos de Embragues y Frenos (Mott, 2010)

(Mott, 2010) Los embragues son dispositivos esenciales en los sistemas de transmisión de potencia, utilizados donde se necesita acoplar o desacoplar el eje impulsado de manera suave y sin interrupciones en la transmisión. Estos pueden clasificarse en función de la geometría de fricción o del tipo de actuador utilizado.

Según la Geometría de fricción:

- De Disco
- Cónico
- De Tambor (externo o interno)

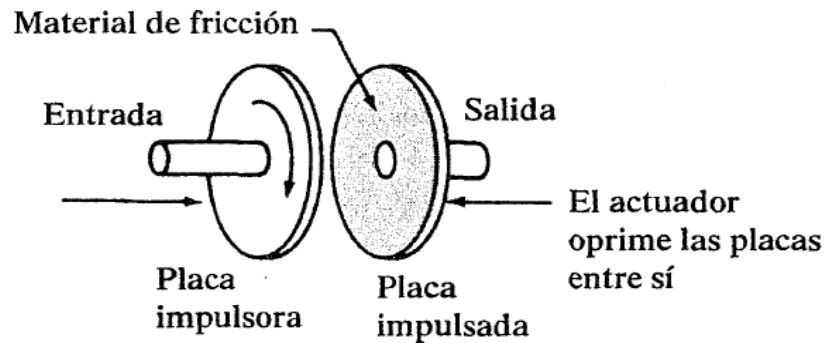
Según el Tipo de Accionamiento:

- Hidráulico
- Neumático
- Magnético

#### 3.3.1 *Embragues de Disco*

Los embragues de disco, también conocidos como embragues de plato o axiales, pueden ser de diseño sencillo, doble o múltiple. Su principal función es transmitir potencia desde el eje de entrada al eje de salida mediante la fuerza de fricción generada entre los discos que los componen.

La fuerza axial que permite el acoplamiento puede ser aplicada por diversos métodos, incluyendo mecanismos mecánicos como levas, resortes y eslabones; mediante presión hidráulica o neumática; o utilizando métodos electromecánicos.

**Figura 2 Embrague de disco simple**

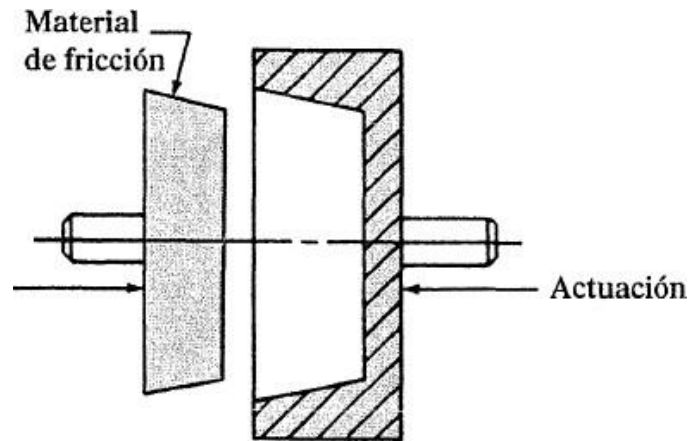
*Fuente:* (Mott, 2010).

### 3.3.2 Embragues de Fricción

Los embragues de fricción presentan varias ventajas significativas. Una de las principales es la capacidad de permitir un deslizamiento relativo entre los discos durante el acoplamiento, lo que resulta en un choque mínimo. Esta característica es particularmente útil en aplicaciones de alta velocidad, donde una transición suave es esencial. Sin embargo, una desventaja notable es el desgaste que resulta del deslizamiento constante, así como el calor externo que se genera durante el proceso, lo que puede afectar la eficiencia y la durabilidad del embrague.

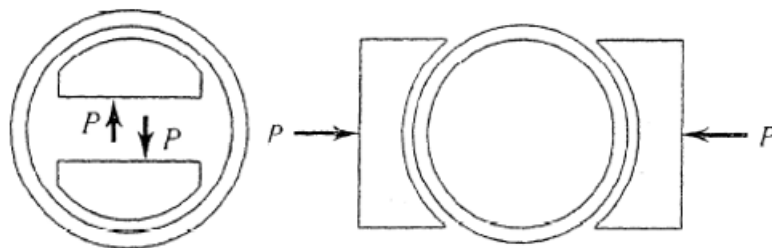
### 3.3.3 Embragues Cónicos

Los embragues cónicos son especialmente adecuados para aplicaciones que operan a velocidades periféricas relativamente bajas. Una de sus ventajas más destacadas es su capacidad para transmitir un mayor par de torsión en comparación con los embragues de disco de igual diámetro y fuerza impulsora. Esto se debe a la mayor área de fricción y al efecto de la acción de cuña. No obstante, una posible desventaja es la necesidad de aplicar una fuerza mayor para acoplar el embrague inicialmente, en comparación con la fuerza necesaria para mantener el acoplamiento cuando el receptor y el cono giran a la misma velocidad.

**Figura 3 Embrague cónico**

*Fuente:* (Mott, 2010)

**Frenos de tambor.**

**Figura 4 Tambor interno externo.**

*Fuente:* (Mott, 2010)

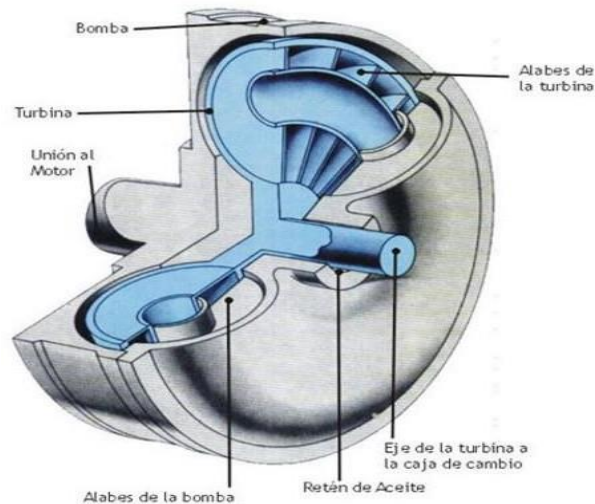
Los frenos de tambor se utilizan exclusivamente para funciones de frenado debido a su configuración específica. La característica distintiva de estos frenos es que la fuerza aplicada actúa perpendicularmente al eje de rotación. Su funcionamiento se basa en la contracción (en frenos de tambor externo) o expansión de zapatas (en frenos de tambor interno), donde las superficies de contacto están recubiertas con material de fricción. El diseño y la eficiencia de estos frenos dependen de la longitud de las zapatas, pudiendo ser de zapata larga o zapata corta.

### 3.3.4 Embragues Hidráulicos

Los embragues hidráulicos son comúnmente utilizados en sistemas como los malacates. En estos embragues, la superficie de fricción se encuentra en el interior del tambor, mientras que la superficie de freno se ubica externamente. El cubo del embrague se acopla al eje del tambor mediante estrías, y la palanca del embrague se posiciona en el cilindro, con su extremo descansando entre las bandas de freno primaria y secundaria. Las conexiones entre el cilindro, el eje del tambor y la varilla de empuje del embrague se sostienen en el casquillo de la banda primaria.

Cuando se aplica presión hidráulica en el cilindro del embrague, las bandas del embrague se mueven debido a la tensión de contracción, alejándose de las superficies de fricción del tambor hasta que se detienen contra las levas de ajuste. Durante el funcionamiento del motor, el eje del tambor, el cubo del embrague y la banda giran en sentido horario, mientras que el tambor del malacate permanece estacionario, sostenido por la banda de freno.

**Figura 5 Embrague hidráulico**



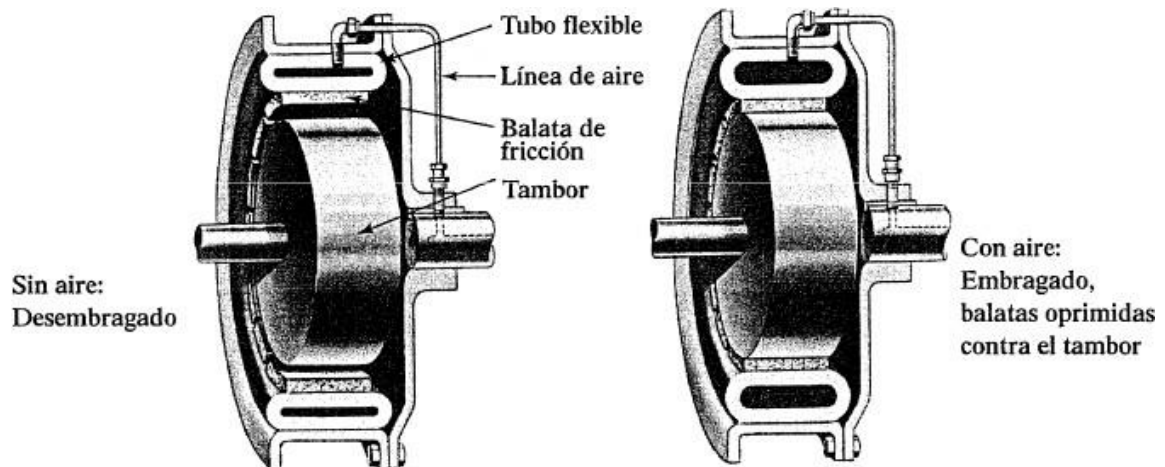
*Fuente: (Embrague-i, 2023)*

### 3.3.5 Embragues neumáticos.

Funcionan mediante un tubo ovalado reforzado de goma, el cual está adherido a la superficie interna o externa del componente propulsor o propulsado. Cuando la presión de aire en el tubo disminuye, la elasticidad inherente de la goma hace que el tubo regrese a su posición original. Esto provoca que los forros de la zapata del embrague se alejen de la superficie del tambor, interrumpiendo la transmisión de potencia al tambor del embrague.

Para acoplar el embrague, el operario debe presionar la válvula de aire de pie del embrague. Al hacerlo, el aire fluye a través de una tubería hacia la conexión giratoria que está unida al eje propulsor del embrague. Este proceso permite que el aire presurizado expanda el tubo, moviendo los forros de la zapata hacia la superficie del tambor y transmitiendo la potencia necesaria para el funcionamiento del embrague.

**Figura 6 Activación de un embrague neumático**

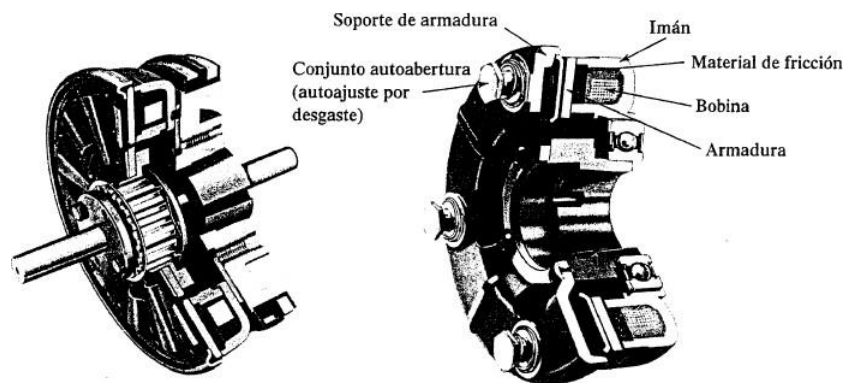


*Fuente:* (Mott, 2010)

### 3.3.6 Embragues electromagnéticos

Operan mediante la aplicación de una corriente eléctrica a una bobina, lo que genera un flujo electromagnético. Esta fuerza magnética atrae una armadura fija, que está conectada a la máquina que se desea controlar. Generalmente, la armadura utilizada es de tipo placa, lo que permite una conexión eficiente y rápida al ser activada por el campo magnético generado. Este tipo de embrague es ideal para aplicaciones que requieren un control preciso y rápido de la transmisión de potencia.

**Figura 7 Embrague o freno de placa con accionamiento electromagnético**



*Fuente:* (Mott, 2010)

### 3.4 Criterios de Operación

Los principios de inercia en física establecen que siempre que se altera la dirección del movimiento de un cuerpo, debe existir una fuerza que actúe sobre él. En el caso de un objeto en rotación, es necesario aplicar un par torsional al sistema para acelerar o desacelerar dicho objeto. Este cambio de velocidad implica una modificación de la energía cinética del sistema. Por lo tanto, el control del movimiento conlleva el control de la energía, ya sea añadiéndola para acelerar el sistema o absorbiéndola para desacelerarlo. (Mott, 2010)

- Parámetros que Influyen en la Capacidad de Embragues y Frenos

- El par torsional necesario: Es esencial para acelerar o desacelerar el sistema.
- El tiempo requerido: Determina el cambio de velocidad.
- La frecuencia de accionamiento: Número de ciclos de arranque y paro por unidad de tiempo.
- La inercia de las piezas: En rotación o traslación.
- El ambiente del sistema: Considera la temperatura y los efectos de enfriamiento.
- La capacidad de disipación de energía: Propia del embrague o freno.
- El tamaño y configuración física: Del dispositivo.
- El medio de accionamiento: Utilizado para operar el sistema.
- La duración y confiabilidad: Del sistema en su conjunto.
- El costo y la disponibilidad: De los componentes y del sistema completo.

La capacidad torsional requerida se expresa como:

$$T = \frac{C * P * K}{n}$$

Donde: C= Factor de conversión para las unidades

K= Factor de servicio basado en la aplicación.

A continuación, se proporciona una guía para calcular el factor K en diferentes contextos:

- En situaciones promedio de frenado, se asigna un valor de K=1,0
- Para embragues de servicio ligero, donde la carga normal solo se aplica al eje de salida una vez que ha alcanzado su velocidad, se asigna un valor de K=1,5
- Para embragues de servicio pesado, que deben acelerar cargas grandes, se asigna un valor de K=3

- Para embragues con cargas cambiantes. En un motor industrial típico, se asigna un valor de  $K=2,75$
- Para un motor con un alto par de torsión inicial, se asigna un valor de  $K=4,0$
- Para sistemas impulsados por motores de gasolina, diésel u otras máquinas motrices, se asigna un valor de  $K=5,0$

En el caso del banco de pruebas de freno-embrague, que tiene requisitos bajos, se utiliza un factor de servicio  $K=1,0$ .

Es importante tener en cuenta que el par torsional es inversamente proporcional a la velocidad de giro. Por lo tanto, es recomendable colocar el freno-embrague en el eje de mayor velocidad. Esto resultará en un tamaño, costo y tiempo de respuesta menores. Sin embargo, la desventaja es que la acción de frenado o embrague tendrá un mayor deslizamiento, lo que generará más calor por fricción.

### 3.5 Determinación del Tiempo de Aceleración de la Carga

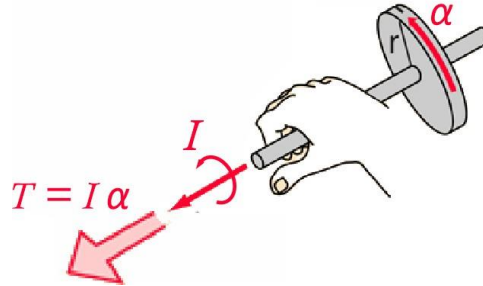
La fórmula general que relaciona el torque con la aceleración angular, esencial para el análisis dinámico, es la siguiente: (Mott, 2010)

$$T_k = I\alpha \quad (Ec. 2)$$

Donde:

$I$  = momento de inercia de la masa de los componentes a acelerar.

$\alpha$  = aceleración angular, tasa de cambio de la velocidad angular respecto del tiempo. ( $\Delta n/ t$ )

**Figura 8 Torque.**

*Fuente: (Vector Properties Of Rotational Quantities, s. f.)*

Para estos fines, es más conveniente expresar el momento de inercia en términos del radio de giro  $k$ . Se define  $k$  como la raíz cuadrada de la relación entre el momento de inercia ( $I$ ) y la masa ( $m$ ). Por lo tanto, tenemos:

$$k = \sqrt{\frac{I}{m}}$$

Donde  $m$  es la masa (peso dividido por la gravedad,  $W/g$ ). Al despejar la inercia, obtenemos:

$$I = m k^2 = \frac{W k^2}{g} \quad (\text{Ecu.3})$$

Al sustituir la inercia en la ecuación 2, obtenemos el torque cinemático en función del tiempo requerido para acelerar o desacelerar la carga y sus propiedades inerciales:

$$T k \frac{W k^2 (\Delta n)}{g t} \quad (\text{Ecu.4})$$

### 3.6 Gestión de Energía: Requisitos de Disipación de Calor

Cuando se utiliza un freno para detener un objeto en rotación, o un embrague para acelerarlo, la energía debe transmitirse a través de superficies de fricción que se deslizan entre sí. Naturalmente, el calor se disipa de la unidad, y bajo un conjunto específico de condiciones de operación, se alcanza una temperatura de equilibrio. Esta temperatura debe ser lo suficientemente baja para garantizar una larga vida útil de los elementos de fricción y las demás piezas. (Mott, 2010)

La energía por absorber o disipar por ciclo es igual al cambio de energía cinética de los componentes que se aceleran o se detienen, y la llamaremos energía cinética de rotación:

$$E = \Delta KE = \frac{1}{2} I w^2 = \frac{1}{2} m k^2 w^2 = \frac{w k^2 w^2}{2g}$$

Para unidades SI, esta expresión se simplifica a:

$$E = \frac{1}{2} m k^2 \Delta w^2 [N * m] \quad (\text{Ecu.5})$$

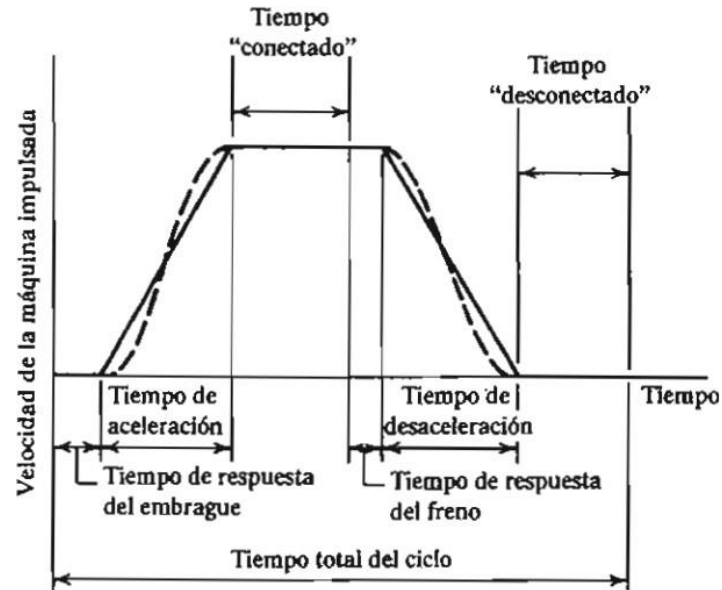
Donde m es la masa en kilogramos (kg), k es el radio de giro en metros (m) y w es la velocidad angular en radianes por segundo (rad/s).

### 3.7 Tiempo de Reacción

El tiempo de respuesta mide el retraso del sistema para comenzar la tarea de frenado o embrague después de que se ha iniciado la acción mediante la aplicación de una corriente eléctrica, presión de aire u otro mecanismo. El tiempo real de respuesta varía debido a cambios en la carga, el ambiente y otras condiciones de operación. (Mott, 2010)

En aplicaciones comerciales, los tiempos de respuesta varían desde unos pocos milisegundos para dispositivos pequeños hasta unos pocos segundos para máquinas más grandes.

Figura 9 Ciclo de Operación de Embrague y Freno



*Fuente: MOTT, Robert L. Diseño de elementos de máquinas*

La Figura 9 ilustra un ciclo completo que emplea un módulo de embrague y freno. La línea continua representa el movimiento ideal, mientras que la línea discontinua curva muestra el movimiento real del sistema.

### 3.8 Técnicas de Análisis para Frenos y Embragues

Los frenos y embragues de disco suelen tener superficies de fricción de forma anular. Para determinar su capacidad en términos de material y dimensiones, se pueden hacer cálculos basados en dos suposiciones:

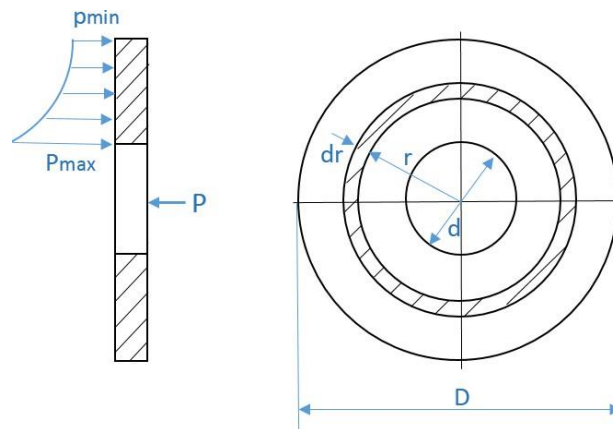
La presión se distribuye de manera uniforme.

El desgaste es constante.

La Figura 10 muestra un disco con un diámetro exterior  $D$  y un diámetro interior  $d$ . Para calcular la fuerza axial  $F$  necesaria para producir un cierto par  $T$  y una presión  $p$ , se considera que si los discos son rígidos, el desgaste inicialmente será mayor en las áreas externas debido a que el trabajo de fricción es mayor en estas áreas. Sin embargo, a medida que avanza el desgaste, la distribución de la presión cambiará hasta permitir un desgaste uniforme.

Otro método de construcción utiliza resortes para aplicar una cierta presión sobre el área, asumiendo que la presión es constante.

**Figura 10 Disco de fricción**



### 3.8.1 Desgaste Uniforme

Una vez que se ha producido el desgaste inicial y la superficie es uniforme, la presión máxima ( $P_{max}$ ) se presentará en  $r=d/2$  para mantener un desgaste uniforme. (Mott, 2010)

Entonces, tenemos:

$$Pr = P_{max} \frac{d}{2} \quad \text{ó} \quad P = P_{max} \frac{d}{2r} \quad (\text{Ecu. 6})$$

Bajo esta condición, se obtiene el mismo trabajo con un radio  $r$  que con un radio  $d/2$ . Considerando un elemento de radio  $r$  y espesor  $dr$ , el elemento de área es  $dA=2\pi r dr$ , por lo que la fuerza normal que actúa sobre ese elemento es  $dF=PdA$ , es decir:

$$dF = 2\pi Pr dr$$

La fuerza normal se puede encontrar variando r entre d/2 y D/2 e integrando, obteniendo:

$$F = \frac{\pi P_{max} d^2}{2} (D - d) \quad (Ecu. 7)$$

El par se encuentra integrando el producto de la fuerza de rozamiento por el radio:

$$Ts = \pi\mu \frac{P_{max} d}{8} (D^2 - d^2)$$

Sustituyendo el valor de F, podemos obtener la siguiente expresión para el par de torsión estático:

$$Ts = \mu \frac{F}{4} (D + d) \quad (Ecu. 8)$$

### 3.8.2 Presión Constante

En este método, se asume una presión uniforme en toda la superficie del disco. La fuerza de acción F es simplemente el producto de la presión por el área, de la siguiente manera:

$$F = \frac{\pi P_{max}}{4} (D^2 - d^2) \quad (Ecu. 9)$$

El par se encuentra integrando el producto de la fuerza de rozamiento por el radio:

$$Ts = \pi\mu \frac{P}{12} (D^3 - d^3)$$

Y como P=Pmax, entonces se despeja de las ecuaciones anteriores y resulta la siguiente expresión:

$$Ts = \mu \frac{F}{3} \left[ \frac{(D^2 - d^2)}{(D^3 - d^3)} \right] \quad (Ec. 10)$$

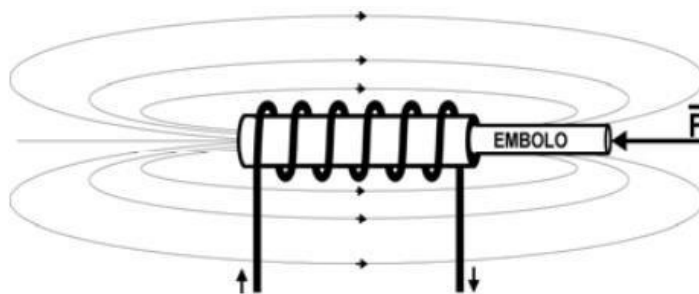
### 3.9 Principios del Electromagnetismo

Uno de los efectos más conocidos de la corriente eléctrica es su capacidad para generar fuerza debido al movimiento de los electrones, fenómeno conocido como magnetismo. Esta fuerza se utiliza en la fabricación de diversos componentes utilizados en varias industrias, como motores, generadores, instrumentos de medición eléctrica, equipos de comunicación y, de particular interés para este proyecto, una amplia gama de mecanismos de control eléctrico, como las bobinas electromagnéticas.

#### 3.9.1 Solenoide

Los solenoides son electroimanes compuestos por un conductor eléctrico enrollado en forma de hélice. Cuando se energiza, conduce una corriente eléctrica (corriente inducida) que genera un campo magnético. Si se coloca un émbolo de hierro dulce o acero dentro de este campo magnético, se ejercerá sobre él una fuerza que intentará atraerlo hacia el solenoide, como se muestra en la figura 12. La fuerza de atracción será proporcional a la corriente que circula por las espiras, es decir, a mayor corriente, mayor será la fuerza. (Loper et al., 1979)

**Figura 11 Solenoide**



*Fuente: Controlargentina.com*

#### 3.9.2 Magnetismo Inducido por Corrientes

Es posible demostrar que la fuerza generada por el campo magnético, debido al flujo de corriente producido por una espira circular del solenoide en el centro de su diámetro, se establece mediante la relación de Gauss: (Greenwood, 1965)

$$B = \frac{2\pi I}{10R} \quad (\text{Ecu. 16})$$

Donde:

- es la corriente que circula por el alambre, medida en amperios.
- (R) es el radio de la espira, medido en centímetros.

Si hay múltiples vueltas de alambre enrolladas muy cerca unas de otras, estas actúan como un único alambre. En este caso, la fuerza del campo magnético se multiplica por el número de vueltas del alambre (N), resultando en la fuerza total del solenoide:

$$B = \frac{2\pi In}{10R} \quad (\text{Ecu. 17})$$

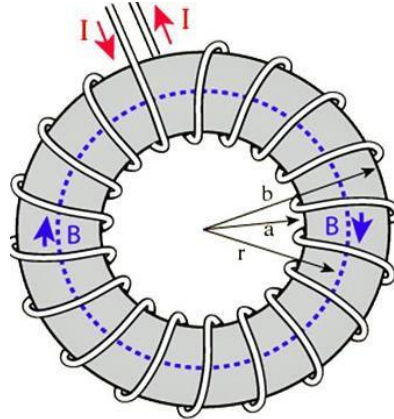
Esta ecuación es válida siempre que el medio dentro de la bobina sea aire.

Para calcular la fuerza del campo, o densidad de flujo, en un punto dentro de un solenoide largo con muchas vueltas en forma de toroide, se utiliza una fórmula más precisa que considera el efecto total de todas las vueltas del filamento:

$$B = \frac{4\pi I}{10L} = \frac{1.257 I N}{L} \quad (\text{Ecu. 18})$$

Donde:

- (I \* N) representa los amperios por vuelta.
- (L) es la longitud de las líneas magnéticas dentro de la bobina, medida en centímetros.

**Figura 12** Toroide de N vueltas.

Fuente: [www.xochipilli.wordpress.com](http://www.xochipilli.wordpress.com)

### 3.10 Magnetización Inducida

Para incrementar el campo magnético del solenoide, es necesario que el material con el que interactúa sea magnético. En dicho material se generan polos que ejercen fuerzas atractivas o repulsivas. Experimentalmente, se ha demostrado que la inducción se intensifica  $\mu$  veces, por lo tanto, la fuerza magnética en el núcleo de la bobina será: (Loper et al., 1979)

$$B = 1.257 \mu \frac{IN}{L} = \mu \mu_0 \frac{IN}{L} \quad (\text{Ecu. 19})$$

Donde:

( $\mu$ ) es la permeabilidad relativa del material magnético.

( $\mu_0$ ) es la permeabilidad absoluta del vacío.

La permeabilidad relativa del material no es un valor fijo, ya que depende del estado magnético de este y de la intensidad de imantación. Esto hace que la bobina no pueda calcularse directamente según la ecuación anterior.

Es necesario determinar la variación de ( $\mu$ ); para este cálculo, se parte de la determinación de la intensidad de campo (H):

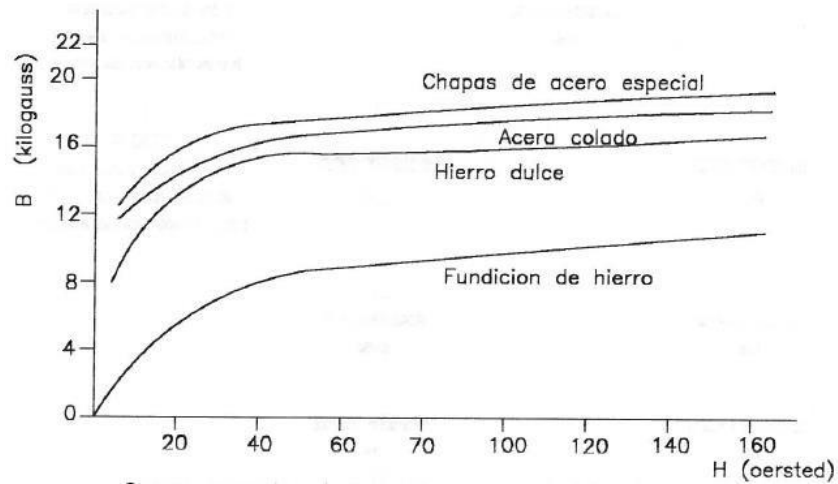
$$H = \frac{IN}{L} \text{ (Amp - vuelta/cm)} \quad (\text{Ecu. 20})$$

Por lo tanto, podemos definir la inducción magnética en función de la intensidad del campo:

$$B = \mu \mu_0 H \quad (\text{Ecu. 21})$$

Dado que ( $\mu_0$ ) es un valor fijo y ( $\mu$ ) es una variable de cada material, se pueden obtener las curvas de magnetización de cada material, graficando B en función de H.

**Figura 13 Comportamiento Magnético de Materiales Ferromagnéticos**



*Fuente: Christian J; SCRIMAGLIA, Carlos A. Diseño y construcción de un freno – embrague electromagnético. Universidad Industrial de Santander, 1992.*

### **3.11 Almacenamiento de Energía Magnética**

Como se mencionó en las secciones 3.9 y 3.10, el electromagnetismo produce fuerzas de atracción que mueven los materiales magnéticos. Para crear un campo magnético, se requiere cierto trabajo, que se almacena como energía potencial y puede convertirse en trabajo mecánico, calor o incluso desvanecerse. Al energizar una bobina, la corriente proporciona el trabajo necesario para formar el campo magnético. Parte de este trabajo se convierte en trabajo mecánico, atrayendo el material magnético, mientras que otra parte se transforma en calor debido al efecto Joule. (Hayt & Buck, 2012)

### **3.12 Influencias en el funcionamiento de los electroimanes**

Es importante considerar los siguientes factores que pueden afectar el rendimiento de la bobina:

- Cualquier autoinducción en serie con la bobina.
- La inercia de las partes móviles.
- El material de las partes móviles.
- La magnitud de la fuerza mecánica del electroimán.
- Cualquier fricción a lo largo del recorrido.
- La generación de corrientes parásitas o secundarias inducidas en la estructura magnética o circuitos cercanos.
- Cualquier resistencia en paralelo con la bobina.
- La dispersión magnética, que disminuye la fuerza magnética útil.

#### ***3.12.1 Aumento Térmico en Electroimanes***

Para prevenir el sobrecalentamiento de las bobinas, especialmente durante largos periodos de trabajo, es necesario tener en cuenta el volumen y la superficie de enfriamiento. Esto evitará

fallos como la disminución de la fuerza electromagnética, independientemente del tiempo de funcionamiento.

El valor máximo permitido de temperatura en las bobinas puede variar entre 50°C y 70°C, dependiendo de la aplicación, las condiciones ambientales, el grosor del bobinado, etc.

Es importante aclarar que la temperatura máxima se encuentra en el interior de la bobina, pero para evitar la propagación del calor, deben tener aislamiento térmico. Los límites de temperatura de seguridad del aislamiento deben ser superiores a los del bobinado y varían según el material. Para bobinas con cubiertas encapsuladas, existen los siguientes aislamientos: (Camilo, 2017)

- Aislantes orgánicos (algodón, papel, esmalte, seda); con un límite de temperatura de hasta 65°C.
- Aislantes inorgánicos (mica, asbesto, fibra de vidrio, etc); con un límite de temperatura de hasta 85°C.

#### **4. Fase Conceptual del Diseño**

El diseño conceptual del proyecto se centra en mejorar el banco experimental de freno/embrague electromagnético. Este banco, que es una herramienta esencial para el aprendizaje práctico de los estudiantes de ingeniería mecánica, ha sufrido un deterioro significativo a lo largo del tiempo. Por lo tanto, el primer paso del proyecto es realizar un diagnóstico detallado para identificar las deficiencias y las partes que necesitan ser reparadas o reemplazadas.

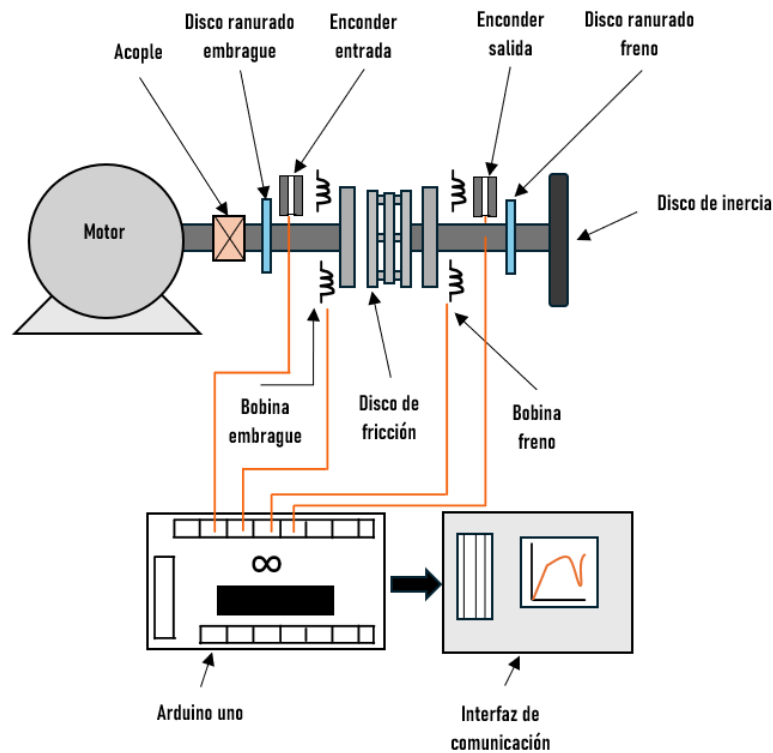
Además, el proyecto busca diseñar una interfaz compatible con Arduino para la transmisión de datos en tiempo real. Esta interfaz permitirá a los estudiantes y profesores visualizar los datos obtenidos durante las experiencias de laboratorio, lo que mejorará la comprensión de los conceptos teóricos.

Otro aspecto importante del proyecto es la implementación de nuevas experiencias de laboratorio. Estas experiencias permitirán a los estudiantes experimentar con diferentes parámetros del banco, como la fuerza de embrague, la geometría y la masa, enriqueciendo así su aprendizaje.

Una vez implementadas las mejoras, el proyecto prevé la realización de pruebas para validar el correcto funcionamiento del banco. Estas pruebas compararán los resultados obtenidos con los de la versión anterior del banco para asegurar que los resultados son lógicos y confiables.

Finalmente, el proyecto incluye un análisis de costos para determinar la viabilidad de este. Este análisis considerará el costo de las piezas de repuesto, el costo de la mano de obra y cualquier otro costo asociado con la reestructuración e implementación del banco experimental.

**Figura 14 Boceto del Banco para Frenos y Embragues Electromagnéticos**



#### 4.1 Requerimientos

La principal necesidad del proyecto es que el estudiante amplíe sus conocimientos sobre los fenómenos energéticos de frenado y embrague de una manera didáctica. Por ello, se propone la reconstrucción y mejora para la implementación del banco de pruebas. Pero en este capítulo, se tratará sobre las necesidades mecánicas, eléctricas y computacionales que debe tener el banco para que pueda cumplir con su objetivo.

A continuación, se mostrarán las necesidades que debe cumplir cada sistema del banco:

- Sistema de lectura de velocidad de rotación de los ejes: El mismo sistema debe permitir la lectura de velocidad, teniendo en cuenta la frecuencia a la que este debe ser leído debido a la velocidad de rotación del motor. Además, debe tener buena resolución y precisión.

- Sistema de control de la fuerza: Existen varias formas de generar modulación por ancho de pulsos (PWM, por sus siglas en inglés) que permiten el control de la regulación de la potencia de accionamiento de diversos sistemas eléctricos. Para las necesidades del banco, debe permitir la variación hasta la máxima fuerza permisible por el sistema de accionamiento. A su vez, debe ser económico y de fácil monitoreo con la tarjeta Arduino.

- Interfaz de control y monitoreo: Para que el usuario pueda interactuar y visualizar el comportamiento del banco, debe haber una interfaz mediante un tablero de mando, una interfaz gráfica, o una combinación de ambas. Debe poder visualizar los parámetros que intervienen en el funcionamiento del freno-embrague. Los controles deben ser de fácil acceso y deben estar marcados de acuerdo con la función de cada uno. Además, debe ser compatible con Arduino.

#### 4.2 Especificaciones de Diseño

Para que el banco cumpla con los requisitos generales, debe ser:

- Estructuralmente rígido

- Piezas estándar
- Con una interfaz amigable
- Económico
- Con un mecanismo de acción sencillo
- Seguro
- Preciso
- Confiable
- Resistente
- Compacto
- Fácil de instalar
- De fácil mantenimiento

### **4.3 Sistema de Interfaz para Banco de Prueba de Freno y Embrague**

En los procesos industriales modernos y en la manufactura, los sistemas de control son de gran importancia, ya que proporcionan un rendimiento óptimo y más preciso de los sistemas dinámicos. La interfaz permite la interacción del usuario del sistema de control con los procesos.

Los componentes necesarios de una HMI son:

- La entrada, que es el medio por el cual el usuario le indica a la máquina qué hacer, le da instrucciones o la ajusta.
- La salida, que permite al usuario visualizar el proceso o la ejecución de comandos.

Los tipos de HMI más utilizados son:

- 1) Las Interfaces Gráficas de Usuario (GUI), que aceptan la entrada a través de un dispositivo como el teclado de la computadora y el ratón, y proporcionan una salida gráfica en la pantalla del ordenador.

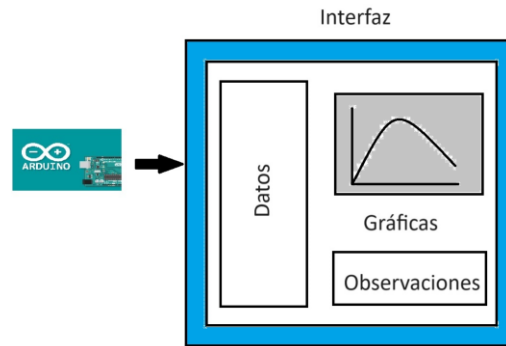
- 2) Las Interfaces de Usuario Web (IUF), que proporcionan una salida mediante las páginas web y se utilizan en procesos totalmente automatizados donde el operador puede ver y/o controlar los procesos a larga distancia.
- 3) Las pantallas táctiles, que son dispositivos que se programan y aceptan una entrada a través del tacto.
- 4) La interfaz de voz del usuario, que acepta la entrada y proporciona una salida mediante la generación de mensajes de voz. Esto genera un ambiente más familiar para interactuar con la máquina.

#### ***4.3.1 Especificaciones para el Diseño de la Interfaz de Comunicación***

Como requerimiento para la interfaz y más importante es que perdure en el tiempo ya que anteriormente se diseñó en un software que se actualiza cada año y las script y funciones programadas cambian su funcionamiento, por otro lado, se debe visualizar los datos que se adquieren en tiempo real, gráficas de aceleración y desaceleración al momento de embragar y frenar respectivamente. Las necesidades más importantes que debe tener la interfaz de comunicación son las siguientes:

- Capacidad de perdurar en el tiempo
- Escalabilidad
- Consumo de recursos del sistema
- Licencia
- Interfaz gráfica (GUI)
- capacidad de procesamiento

**Figura 15 Bosquejo de la Interfaz de Comunicación**



Para el diseño de esta interfaz, se indagaron 3 alternativas entre las cuales tenemos Excel, Matlab y Python.

Excel: es un software con capacidad de almacenar y procesar grandes paquetes de datos, cuenta con una herramienta llamada data streamer que es altamente compatible con Arduino, lo que facilita el manejo de datos en tiempo real (AngeldeOdin, 2021).

Matlab: Es un entorno de programación y cálculo numérico ampliamente empleado por numerosos ingenieros y científicos para el análisis de datos, la creación de algoritmos y el desarrollo de modelos (MATLAB - el lenguaje del cálculo técnico, s. f.).

Python: Es un lenguaje de programación popular en aplicaciones web, desarrollo de software, ciencia de datos y machine learning (¿Qué es Python? - Explicación del lenguaje Python - AWS, s. f.). Lo que permite a Python conectarse con Arduino mediante una de sus muchas librerías llamada pyserial permitiendo la programación de Arduino y tratamiento de datos de este (Llamas, 2016).

A continuación, se presenta una matriz QFD para la selección de la mejor alternativa.

Figura 16 Matriz selección de alternativas interfaz de comunicación

Cómo?		programa de version permanente	programa de buena memoria	Bajo consumo de hardware	económicamente factible	Que sea sea entendible	Seguro y confiable	EVALUACIÓN COMPARATIVA 5 = MEJOR 1 = PEOR			
Qué?		PRIORIDAD	1	2	3	4	5	6			
1. REQUERIMIENTOS DE LOS CLIENTES									excel	matlab	python
1	Capacidad de perdurar en el tiempo	5	5	0	5	0	0	0	5	1	4
2	Escalabilidad	4	5	3	0	0	0	3	4	4	4
3	Consumo de recursos del sistema	5	0	5	5	0	0	0	5	3	4
4	Licencia	3	5	0	0	5	0	0	4	2	5
5	Interfaz grafica (GUI)	3	0	0	0	0	5	0	5	5	3
6	capacidad de procesamiento de datos	5	0	3	0	0	0	5	5	5	5
EVALUACION DE IMPORTANCIA	ABSOLUTA		60	52	50	15	15	37	28	20	25
	RELATIVA (%)		10	9	9	3	3	6			
Observamos el mayor =mayor prioridad =1											

En conclusión, La decisión que se tomó fue realizar el monitoreo creando una interfaz de gráficos de usuario (GUI), mediante el entorno de desarrollo GUIDE de EXEL con un resultado de 28 puntos superando las demás alternativas, este entorno proporciona herramientas para diseñar interfaces de usuario personalizadas. GUIDE proporciona un método interactivo para poder programar y modificar el comportamiento de la aplicación. Además, permite enlazar fácilmente con el software de Arduino, que, entre sus funciones, se encarga de recibir señales de fenómenos físicos mediante sensores o algún instrumento de control, de procesarlos mediante algoritmos de programación, enviar una señal de control procesada y de visualizar datos que se necesiten.

**Figura 17 Comunicación Arduino-Excel**

4.2

### Medición de RPM

Existen diversas técnicas para medir las revoluciones; dependiendo del entorno de trabajo y la precisión requerida, se pueden implementar mediciones mediante contacto mecánico, óptico o magnético. Además, existen sistemas que se instalan de forma fija en la máquina con una interfaz externa para su monitoreo continuo, o mediante medidores portátiles que se operan manualmente, como los tacómetros.

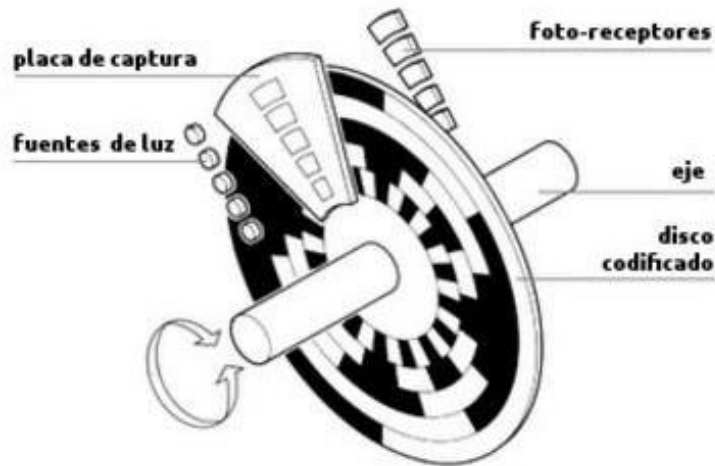
Los encoders son dispositivos universales que permiten determinar la velocidad y posición de un movimiento, y registran la medición desde un procesador o un autómatas (por ejemplo, un Arduino). Los encoders rotativos se utilizan en una amplia gama de campos e industrias, desde máquinas de fax y electrodomésticos de consumo hasta robótica, minería, transporte, maquinaria aeroespacial, etc.

#### ***4.2.1. Principios de Operación de un Encoder Rotativo***

Su funcionamiento consiste en convertir el movimiento rotativo en pulsos digitales o analógicos que pueden ser interpretados y traducidos como velocidad, ángulo y sentido de giro. Básicamente, consta de un disco conectado a un eje giratorio y un sensor de lectura.

El disco, generalmente hecho de vidrio o plástico, está codificado radialmente con partes transparentes y otras opacas, o mediante ranuras, que permiten o bloquean el paso de luz emitida por una fuente (típicamente emisores de infrarrojos).

**Figura 18 Principios de Operación de un Encoder**



*Fuente: (Figure 2. A 5-bit Rotation Encoder, Using A Gray-code Pattern And An. . . , s. f.)*

A medida que el eje gira, el emisor infrarrojo emite luz que es captada por el sensor óptico (o fototransistor), generando pulsos digitales a medida que la luz atraviesa el disco o es bloqueada en diferentes secciones de este. Esto produce una secuencia de pulsos. (La figura 21 ilustra este proceso).

## 5. Metodología

El proceso general para llegar a la reestructuración e implementación del banco se realizó en el siguiente orden cronológico:

- 1) Visualización y verificación del banco freno/embrague para saber el estado en el que se encuentra actualmente.
- 2) Redacción del reporte detallado, donde se especifica el proceso de reestructuración del banco.
- 3) Diseño de la interfaz de comunicación humano máquina.
- 4) Planteamiento de nuevas experiencias de laboratorio.
- 5) Verificación de toma de datos y calibración de sensores.

### 5.1 Reporte del estado del banco

En esta etapa, se realiza un análisis detallado de las deficiencias del banco experimental de freno/embrague electromagnético. Al identificar las partes que están deterioradas y necesitan ser reemplazadas o reparadas.

**Figura 19 Estado inicial del banco**



Para optimizar el rendimiento del banco de freno/embrague electromagnético, se realizó una evaluación exhaustiva de sus componentes, identificando y corrigiendo fallas. Se reemplazó el sistema de cableado dañado y se verificó el correcto funcionamiento de las bobinas y el motor. Los sensores, que presentaban mediciones inexactas debido a su antigüedad, fueron reemplazados por encoders nuevos. Además, se identificó un problema con la placa control de las bobinas, que fue resuelto reemplazando algunos componentes defectuosos (Revisar Anexo A). Finalmente, se realizó una nueva programación y calibración del controlador Arduino Uno para obtener mediciones más precisas, asegurando así que el banco está listo para su uso en futuras experiencias de laboratorio.

## **5.2 Análisis de Bobinas**

En el proyecto en cuestión, se optó por la utilización de bobinas previamente disponibles. (Camilo, 2017). Estas bobinas ya habían sido objeto de una caracterización experimental, que implicó un proceso de ingeniería inversa. Este proceso consistió en la realización de pruebas experimentales con dos objetivos específicos:

1. Determinar el consumo de corriente de las bobinas.
2. Establecer el voltaje máximo que las bobinas pueden soportar sin presentar fallos o sobrecalentamientos.

Estos parámetros son críticos para garantizar el funcionamiento óptimo y seguro de las bobinas. La información obtenida de estas pruebas es fundamental para implementar el banco de pruebas.

Es importante destacar que la caracterización de las bobinas es un paso esencial ya que permite entender su comportamiento bajo diferentes condiciones de operación y, por lo tanto, diseñar sistemas que las utilicen de manera eficiente y segura. En este caso, la caracterización permitió seleccionar voltajes de operación adecuados, que proporciona la fuente de alimentación, garantizando así que las bobinas funcionen dentro de sus límites operativos sin riesgo de fallo o sobrecalentamiento.

Los ensayos se realizaron utilizando un autotransformador eléctrico para alimentar las bobinas, permitiendo variar el voltaje y la corriente. Este autotransformador tiene un devanado alimentado a 110 V (Ve), dos puntos de salida de voltaje (uno variable y otro fijo), y un variador que controla manualmente el voltaje de alimentación. La corriente alterna del autotransformador se transformó en corriente directa mediante un puente de diodos rectificador. En cada ensayo, se moduló el autotransformador para variar la corriente de la bobina, que debía vencer la inercia de seis pesos de hierro fundido. La corriente se aumentó gradualmente hasta que la bobina atrajo cada peso, estableciendo una relación entre la fuerza magnética de las bobinas en gramos fuerza y el voltaje.

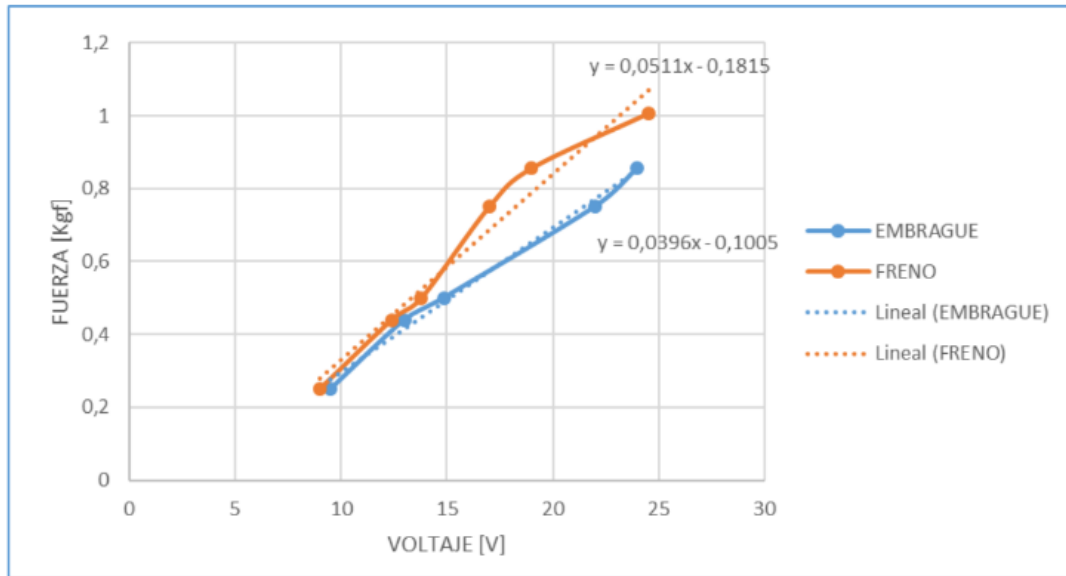
**Figura 20** caracterización bobinas



Fuente: (Camilo, 2017)

Como resultado de la caracterización se obtienen datos que relacionan el voltaje con la fuerza de accionamiento de las bobinas, tanto para freno, como embrague; como se puede observar en la curva de comportamiento (figura 21).

**Figura 21 Correlación entre voltaje y fuerza**



Fuente: (Camilo, 2017)

Por lo tanto, las ecuaciones operativas para la bobina del embrague y el freno, en términos del voltaje, serán las siguientes respectivamente:

$$F_{embrague} = 0,04 V - 0,10 \text{ [Kgf]}$$

$$F_{freno} = 0,051 V - 0,181 \text{ [Kgf]}$$

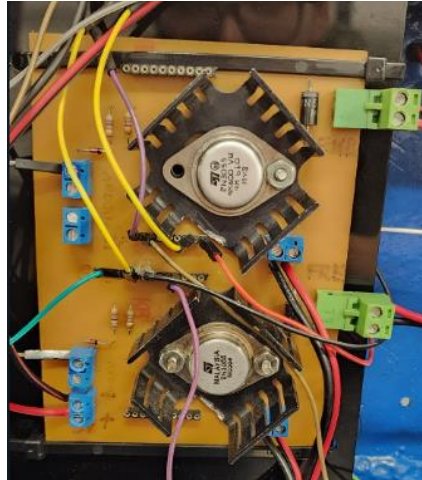
Donde el Voltaje está dado en Voltios y la Fuerza en Kilogramos-fuerza.

### 5.3 Caracterización Modulada por PWM

La caracterización de las bobinas en función de la señal de modulación por ancho de pulso (PWM) es un aspecto crucial del proyecto, tal como se detalla en la sección 5.2. Esta caracterización permite diseñar la señal PWM de manera que se pueda controlar el sistema de manera eficiente utilizando un Arduino Uno.

Se decidió reutilizar el diseño previo (ver anexo B) debido ya que el voltaje de salida de la fuente de alimentación permanece constante a 25V. Esta decisión se tomó con el objetivo de preservar la vida útil de las bobinas, evitando someterlas a tensiones que pudieran causar su deterioro prematuro.

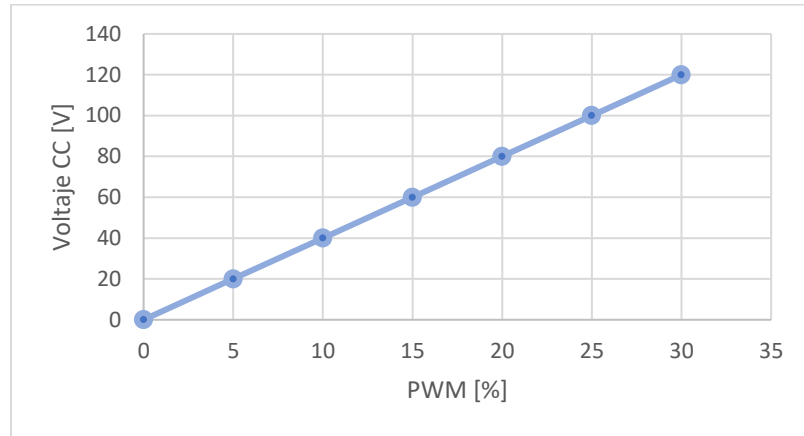
**Figura 22 Placa moduladora de PMW**



Fuente: (Camilo, 2017)

La relación entre la señal PWM y el voltaje de salida es un factor determinante en el control del sistema. Esta relación se puede visualizar en la figura que se presenta a continuación. Es importante destacar que una correcta comprensión de esta relación es esencial para el diseño de un sistema de control eficaz y seguro.

**Figura 23 Gráfica PWM vs voltaje**



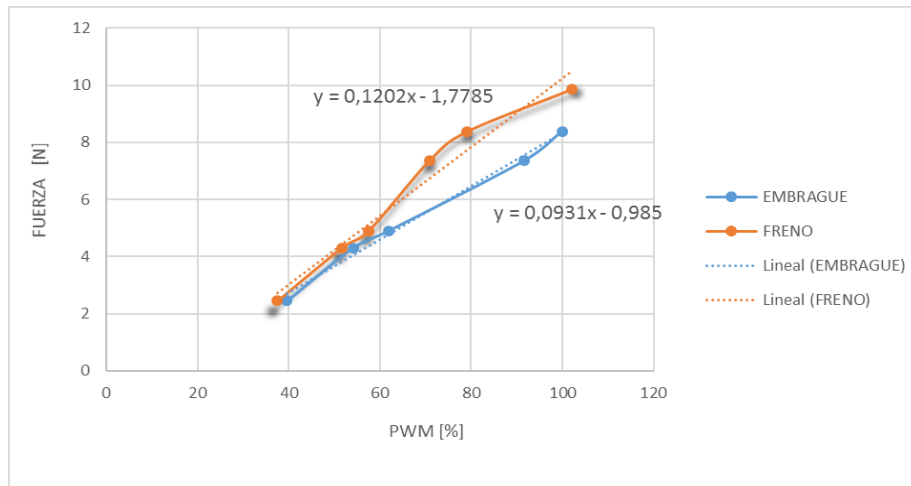
Fuente: (Camilo, 2017)

Con ecuación característica:

$$V_{equ} = 25 * PWM [V] \quad (Ec. 31)$$

Se logró una adaptación directa de la descripción del funcionamiento de las bobinas, basándose en las señales de modulación de ancho de pulso (PWM) que se utilizan para ajustar la fuerza. La siguiente figura ilustra esta caracterización que se realizó:

**Figura 24 Relación de la fuerza en función de la señal PWM**



Fuente: (Camilo, 2017)

Por lo tanto, las ecuaciones de funcionamiento en función de la señal PWM para cada bobina son:

$$F_{\text{freno}} = 0,093 \text{ PWM} - 0,985 \quad [N] \quad (\text{Ec. 32})$$

$$F_{\text{Embrague}} = 0,120 \text{ PWM} - 1,778 \quad [N] \quad (\text{Ec. 33})$$

Estas ecuaciones se utilizaron en el programa de Arduino para poder visualizar la fuerza en Newton con la que estarían funcionando las bobinas, únicamente con la lectura de la señal analógica del potenciómetro utilizada como PWM. Esto permite un control preciso de la fuerza de accionamiento, lo que es crucial para el funcionamiento eficiente del sistema de frenado y embrague.

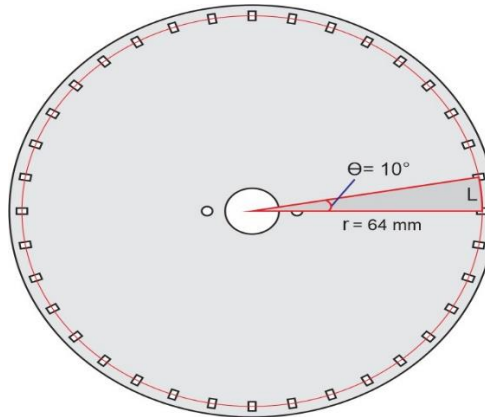
#### **5.4 Diseño de Sistema de Medición de Velocidad**

Como se menciona en la sección 4.2, el uso de encoders rotativos representa un método sencillo y de bajo costo para la determinación de la velocidad. Para este propósito, se optó por la reutilización los discos con ranurados, en conjunto con un sensor infrarrojo de tipo ranurado.

##### **5.4.1 Discos ranurados.**

Se usaron dos discos ranurados de acrílico opaco de 3 mm de espesor, cada uno con un agujero central de 15 mm y dos laterales de 3 mm para su fijación. El diseño óptimo del disco incluye la mayor cantidad posible de ranuras para aumentar la resolución de pulsos. Para su correcto funcionamiento, se consideraron la velocidad máxima del motor (1800 RPM), y el radio de las ranuras. El espacio disponible para el radio del disco es de 6 cm, por lo que se estableció un radio de 64 mm y un ángulo de paso  $\Theta$  de  $10^\circ$ .

#### **Figura 25 Disco ranurado**



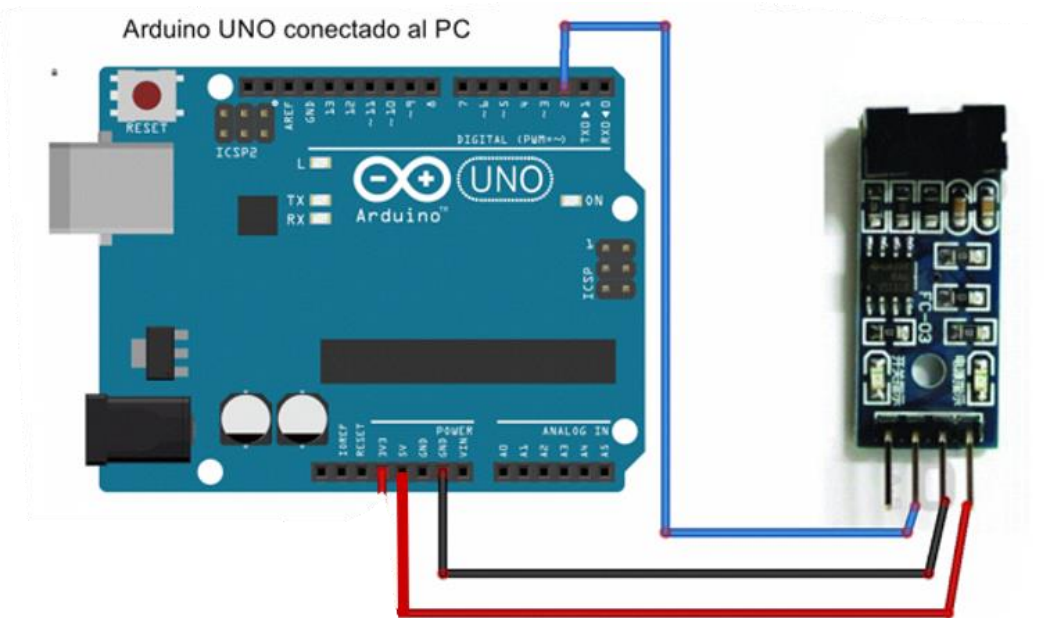
Fuente: (Camilo, 2017)

#### **5.4.2 Funcionamiento y Aplicaciones del Sensor de Ranura Tipo Herradura**

Como se menciona en la sección 4.2 se emplean sensores ópticos tipo herradura con un módulo integrado conocido como LM393 sensor de velocidad. Este componente desempeña un papel fundamental en la medición de la velocidad y cuenta con las siguientes características:

El módulo LM393 consta de un Led emisor y un Led receptor, dispuestos en lados opuestos de una ranura. Cuando el rayo de luz entre los Leds se interrumpe (por ejemplo, cuando un objeto pasa por la ranura), se genera una señal. Esta señal se cuenta como un pulso. El disco ranurado asociado al sensor tiene 36 ranuras, y cada vez que la luz atraviesa una ranura, se acumula un pulso. Para completar una vuelta completa, se cuentan 37 pulsos.

En cuanto a la conexión, el módulo LM393 se puede alimentar con voltajes entre 3V y 5V. Además, es especialmente compatible con la placa Arduino Uno, y la conexión se realiza mediante jumpers macho-hembra, directamente a la placa. Este sensor proporciona una solución confiable y precisa para medir la velocidad en este proyecto.

**Figura 26 Esquema de conexión del módulo sensor de velocidad.**

*Fuente:* (Admin & Admin, 2022)

### 5.4.3 Evaluación y Ajuste del Módulo de Velocidad

Para evaluar el rendimiento del sistema de lectura de velocidad, se supervisaron los pulsos generados por los dos sensores utilizando un Arduino Uno. A través del código, se estableció la relación necesaria para determinar las RPM del motor. Paralelamente, se midieron las revoluciones con un tacómetro, que se utilizó como referencia para comparar los resultados de las lecturas obtenidas.

Se realizaron diversas mediciones de velocidad y se contrastaron utilizando la ecuación del porcentaje de error, considerando como valor real el proporcionado por el tacómetro. Para obtener la lectura más alta, se llevó el motor a su máxima velocidad y se calculó un promedio, el cual se comparó con las lecturas del tacómetro.

**Figura 27 pruebas de los dos sensores****Tabla 1 Lecturas de Sensores Transmitidas por Arduino**

rpm1	rpm2
1790	1786
1791	1790
1792	1788
1790	1787
1792	1789

**Tabla 2 Análisis del Porcentaje de Error en las Lecturas de RPM**

	Lecturas de RPM		error [%]	Promedio del error
	con tacómetro	con Arduino		
<b>sensor 1</b>	1792	1786	0.336	0.154
	1791	1789	0.112	
	1788	1788	0.000	
	1793	1790	0.168	
<b>sensor 2</b>	1792	1788	0.224	0.168
	1791	1787	0.224	
	1790	1786	0.224	
	1789	1789	0.000	

Como se puede apreciar, el promedio de los errores no excede el 0.2%, lo que sugiere que el método utilizado con el disco ranurado y el Arduino es una forma fiable de monitorear las revoluciones del sistema de freno-embrague.

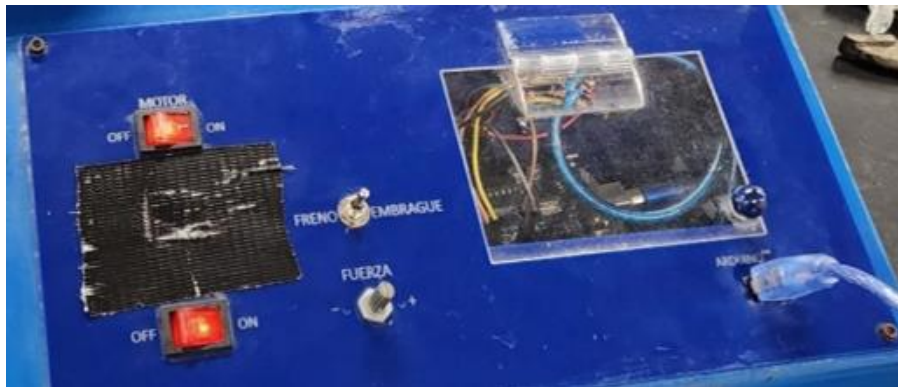
## 5.5 Desarrollo de la Interfaz Humano-Máquina (HMI)

Con el objetivo de facilitar la operación del equipo, surge la necesidad de implementar una interfaz de comunicación que permita visualizar en tiempo real su funcionamiento. Para abordar esta necesidad, se propone desarrollar una interfaz gráfica en el programa Excel, considerada la mejor opción según lo expuesto en el apartado 4.3.

### 5.5.1 Panel de control.

Una de las funciones de este dispositivo es permitir que el operario manipule manualmente los diferentes componentes del banco mediante pulsadores, al mismo tiempo que visualiza la conexión de Arduino. El tablero está construido en acrílico opaco, tal como se muestra en la siguiente figura.

**Figura 28 Panel de control.**



Como se ve en la figura anterior, el panel se dividió de la siguiente manera:

**5.5.1.1 Switches de Energización:** Equipado con dos interruptores de dos posiciones que controlan el encendido o apagado de los componentes:

1. **Switch motor;** Al suministrar corriente directa de 110 V desde la fuente de alimentación del banco, se activa o desactiva rápidamente el motor.

2. **Switch de bobinas;** Al suministrar energía a la placa de regulación PWM utilizada para alimentar las bobinas, se emplea una línea de 25 V.

**5.5.1.2 Control de las bobinas:** Facilita el control de las bobinas mediante dos selectores que se alimentan con 5 V.

1. **Switch de 3 posiciones:** Se utiliza la modulación por ancho de pulso (PWM) en Arduino para simular una salida analógica. En vez de generar un voltaje continuo, el Arduino alterna la señal entre encendido y apagado a una frecuencia constante. El promedio de esta señal en el tiempo emula el valor analógico deseado. Se emplea para controlar la posición de las bobinas (freno, neutro, embrague) según la necesidad del operario.
2. **Potenciómetro;** La salida analógica es capturada por el Arduino y convertida en una señal PWM a través del código programado. Este método permite al operario ajustar manualmente la fuerza aplicada por las bobinas. Al girar el control en el sentido horario, la fuerza aplicada por las bobinas incrementa, mientras que, al girar en sentido antihorario, la fuerza disminuye. Esta funcionalidad proporciona un control preciso y dinámico, esencial para aplicaciones que requieren ajustes finos en tiempo real en el sistema de freno-embrague.

### **5.5.1.3 Conexión Arduino.**

Equipado con una cubierta transparente que permite visualizar fácilmente las conexiones del Arduino y con un puerto de salida USB para la conexión externa a una computadora.

### ***5.5.2 Operaciones de Procesamiento de Datos.***

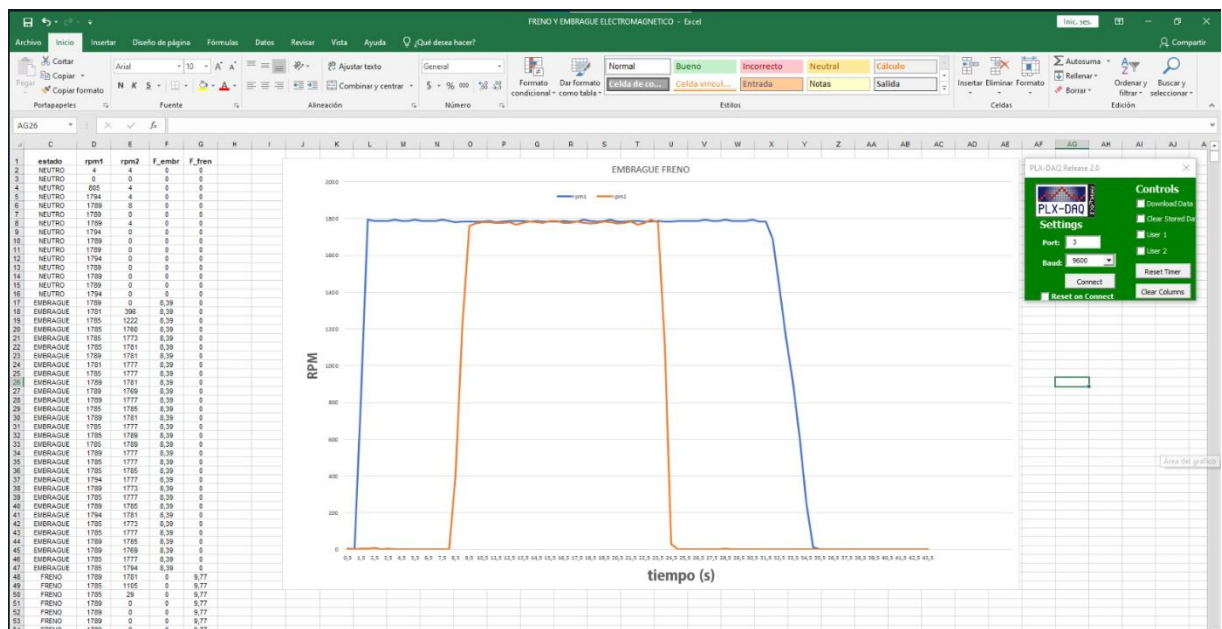
La interacción a través del microcontrolador Arduino proporciona flexibilidad para programar y modificar los códigos. Además, sus funciones y bibliotecas ofrecen al programador herramientas prediseñadas para diversas aplicaciones. El programa creado lee los valores del interruptor y el potenciómetro del control de bobinas, convirtiéndolos en señales PWM que son recibidas por el circuito modulador de fuerza conectado a las bobinas. También interpreta las señales pulsantes de los módulos de velocidad y las transforma en valores de velocidad de rotación. Adicionalmente, utilizando la información de los apartados 5.2 y 5.3 añadida al código de Arduino, muestra las fuerzas de las bobinas. Para consultar el diagrama de Arduino, ver el Anexo B.

Para visualizar los valores de los datos, se puede utilizar el monitor serial de Arduino. La información se organiza en trenes de datos dispuestos en filas, enviados aproximadamente cada 0.5 segundos. Cada tren contiene 6 variables separadas por comas (,) para facilitar la conexión con la aplicación de Excel.

### 5.6 Interfaz en Excel

En la parte derecha se establece la conexión con Arduino (para vincular el Arduino Uno con Excel, se tomó un diseño encontrado en la web que consiste en una programación previamente realizada en VBA (ver anexo C); que es un apartado que está dentro del mismo Excel en la barra de herramientas llamada PROGRAMACIÓN(Javier Arévalo, 2021), a la cual no se le hace ningún tipo de modificación simplemente se enlaza con Arduino Uno mediante los puestos COM del equipo), se puede iniciar y finalizar la toma de datos con el botón CONECT/DISCONNECT, configurando antes el puerto donde se encuentra conectado el Arduino y los baudios al cual trabaja; dependiendo del accionamiento que se haga manualmente a las bobinas, aparecerá en la parte izquierda donde están los datos el estado(NETRO-EMBRAGUE-FRENO);seguido de los datos de las rpm y también hay un indicador de fuerza, dependiendo de la que se le coloque en el potenciómetro, y por ultimo esta la gráfica que muestra en tiempo real su comportamiento, en la cual se grafican las velocidades según el estado en el que este.

**Figura 29** Ventana de interfaz Excel



## 5.7 Prácticas de laboratorio

Las prácticas de laboratorio son fundamentales para el desarrollo integral de los estudiantes, proporcionando una base robusta de habilidades prácticas, conocimientos aplicados y competencias profesionales esenciales. Además de fortalecer la comprensión teórica, estas experiencias fomentan la capacidad de resolver problemas, la innovación y el trabajo en equipo, preparando a los estudiantes para enfrentar desafíos reales en su campo de estudio. (¿Cuáles Son las Prácticas de Laboratorio? | Orientanet, s. f.)

Para el desarrollo seguro y confiable de las prácticas de laboratorio, es fundamental que los estudiantes comprendan el uso correcto del banco freno/embrague, con el fin de evitar accidentes y percances. Para ello, se ha elaborado un manual de uso que contiene indicaciones precisas para instruir a los estudiantes antes de iniciar las experiencias prácticas. Este manual se encuentra en el apartado de anexos, específicamente en el Anexo D.

Al observar los parámetros modificables del banco de freno/embrague, como la fuerza y la masa inercial, se propone una serie de cuatro experiencias prácticas que complementen lo que el estudiante aprende en el aula de clase (Ver Anexo E). Estas prácticas son las siguientes:

### ***5.7.1 Practica No1: Operación del banco freno embrague***

El objetivo principal de esta práctica es lograr una comprensión profunda del funcionamiento del banco de freno y embrague. Esta actividad está diseñada para que el estudiante aprenda a operar el banco experimental y comprenda a fondo el manual correspondiente. Se pondrán en práctica los conceptos y procedimientos descritos en dicho documento para asegurar un aprendizaje efectivo y aplicado.

### **5.7.2 *Practica No2: Ensayo estático***

La práctica dos se centra en el estudio del banco en un estado estático. El objetivo principal es comparar el sistema utilizando los métodos de análisis de frenos y embragues por desgaste constante y presión uniforme, contrastando los datos experimentales obtenidos del banco de pruebas. Esto tiene como propósito validar los modelos teóricos establecidos. La metodología implica realizar ajustes precisos en el disco inercial y aplicar peso de forma gradual, registrando meticulosamente los valores y analizando los resultados para obtener conclusiones sobre el rendimiento del sistema de embrague en diversas condiciones de carga y fricción.

### **5.7.3 *Practica No3: Inercia y curvas de igualación***

La práctica de laboratorio tres se enfoca en investigar cómo las masas inerciales afectan el rendimiento de un sistema de freno y embrague electromagnético. A través de experimentos prácticos, se exploran las variaciones en las masas inerciales y su impacto en la eficiencia y el funcionamiento de estos sistemas de transmisión. Se utiliza la metodología que incluye ajustes en la masa inercial, observación de curvas de igualación en tiempo real y análisis comparativo para extraer conclusiones sobre el comportamiento del sistema bajo distintas condiciones de carga y operación.

### **5.7.4 *Practica No4: Variación de la fuerza***

La práctica cuatro de laboratorio se centra en comprender el impacto de la variación de la fuerza de las bobinas en el sistema de freno y embrague electromagnético. Mediante experimentos, se analiza cómo estas variaciones afectan el proceso de embragado y frenado, así como el intercambio energético durante la aplicación de fuerzas al sistema. El objetivo es experimentar con diferentes configuraciones de fuerza de las bobinas para observar sus efectos directos en el rendimiento del sistema, y luego analizar y relacionar los resultados obtenidos con las teorías

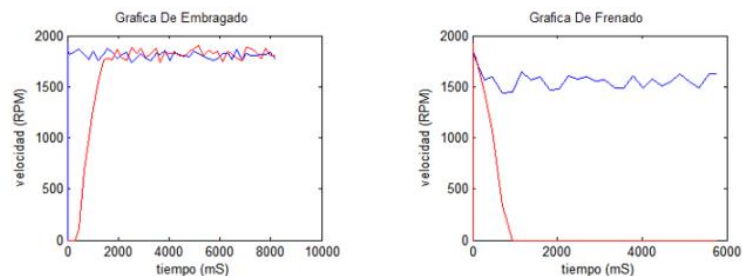
establecidas. La metodología incluye ajustes precisos del disco de inercia, seguimiento de curvas en tiempo real, y cálculos de inercia y energía de rotación para diferentes niveles de fuerza de las bobinas, concluyendo con la formulación de conclusiones basadas en los datos experimentales y teóricos recopilados.

### 5.8 Validación de funcionamiento por medio de comparación grafica

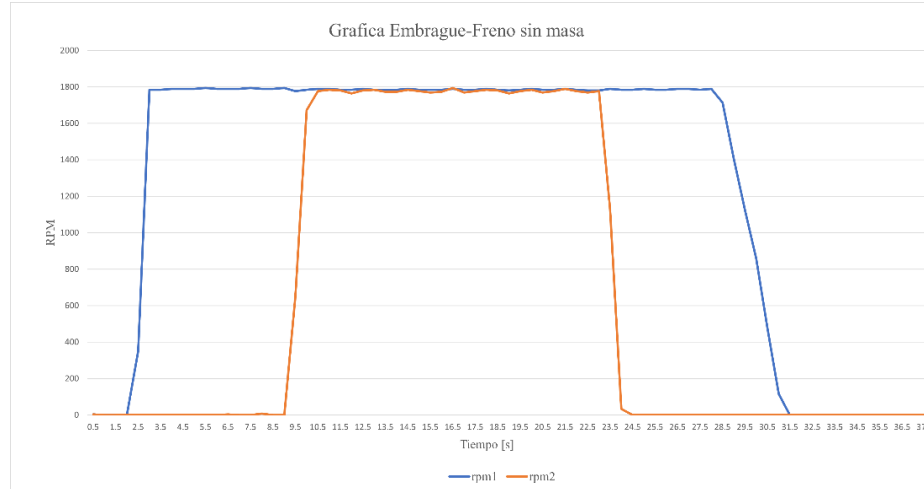
Para validar el correcto funcionamiento del banco de freno y embrague, se emplea una comparación gráfica del comportamiento de los frenos y embragues. La Figura 9, en la sección 3.7, describe el ciclo completo utilizando un módulo de freno y embrague, identificando las líneas ideales y reales que servirán como guía para comprobar el funcionamiento del banco actual. Además, la versión anterior del banco proporciona gráficas de frenado y embragado. Cabe recalcar que la que la fuerza y masas son las mismas en ambas versiones, no varía el peso, ni el volumen. Estas comparaciones permitirán evaluar y analizar la funcionalidad del sistema actual.

En las siguientes figuras 29 y 30 se presenta el ciclo de funcionamiento del embrague-freno. Al comparar ambas versiones, se observa que tienden a exhibir comportamientos similares. Sin embargo, en la versión anterior, los procesos de embrague y frenado se muestran por separado, lo que dificulta una visualización precisa del ciclo completo. En contraste, la nueva versión integra ambos procesos en una representación unificada, lo cual facilita la comprensión del ciclo.

**Figura 30 grafica anterior versión**



Fuente:(Camilo, 2017)

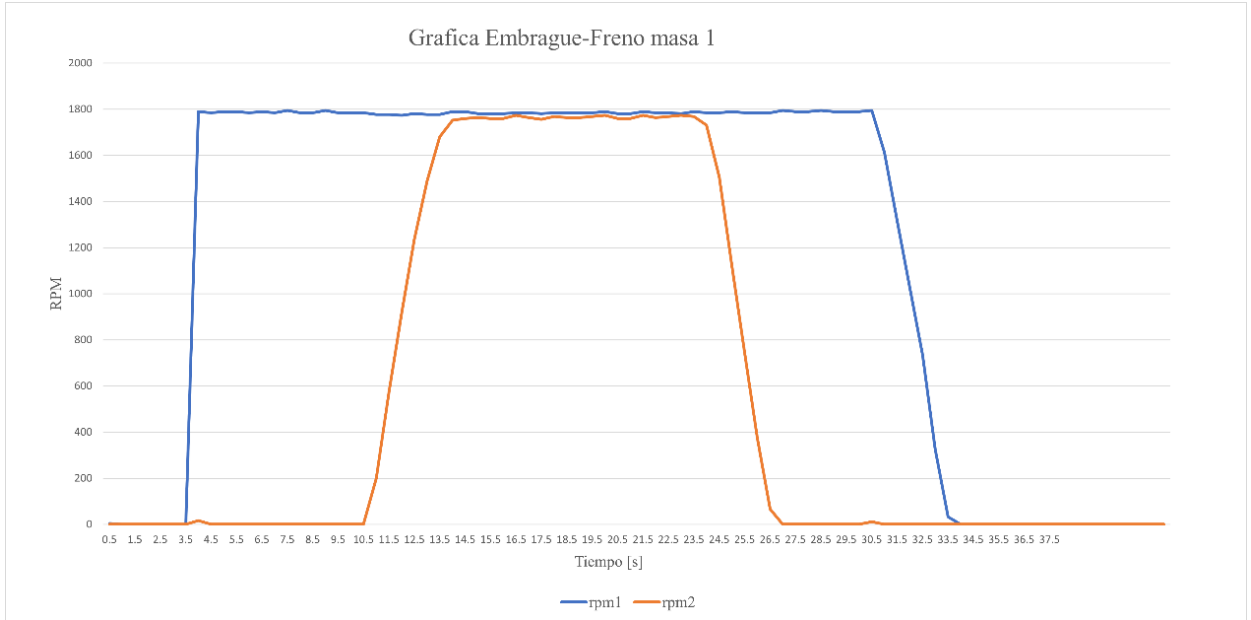
**Figura 31 Grafica nueva versión sin masa**

En las Figuras 29 y 30, la línea azul representa las revoluciones por minuto (RPM) del árbol del motor, mientras que las líneas roja y naranja representan el árbol de arrastre del embrague. Se puede observar que la velocidad es de aproximadamente 1800 RPM. En la Figura 29, se detectan variaciones significativas en los picos de velocidad, lo que indica desajustes en el sistema de medición de velocidad. Por el contrario, en la Figura 30, estos picos de velocidad son más pequeños, lo que sugiere una mayor precisión en la medición.

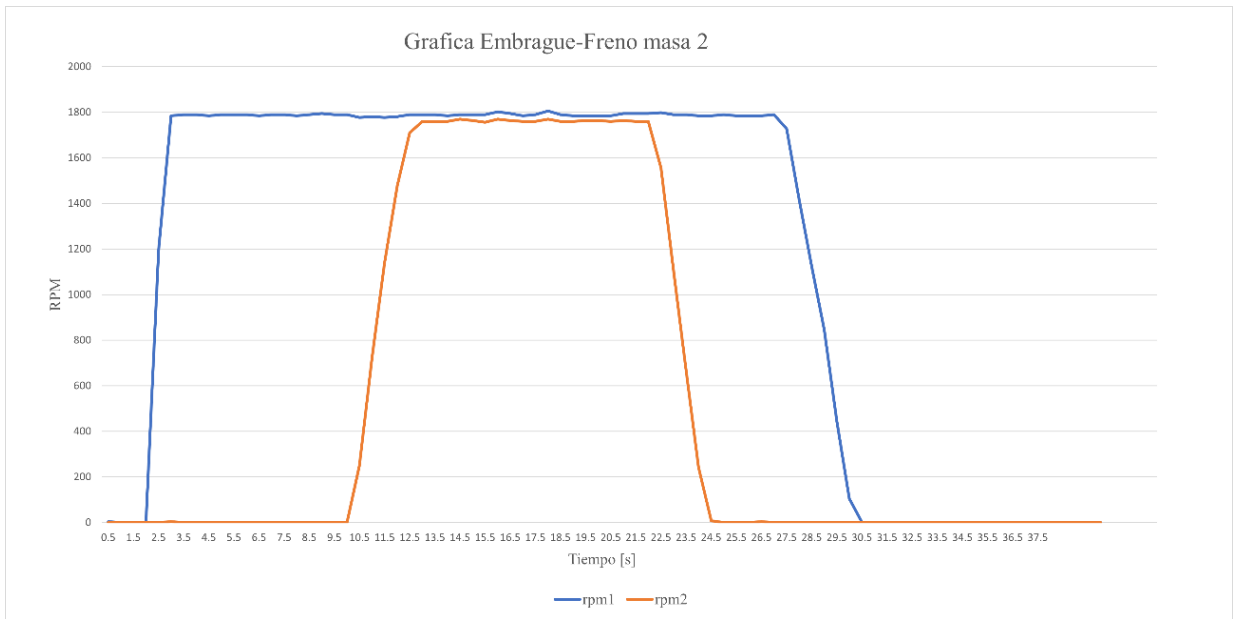
Además, el tiempo de estabilización del árbol de arrastre en ambas figuras es de aproximadamente 0.5 segundos, con un comportamiento lineal, lo que corrobora el correcto funcionamiento del sistema. Asimismo, los tiempos de frenado no varían significativamente; en la Figura 29 se observa un tiempo de frenado de aproximadamente 1 segundo, mientras que en la Figura 30 es de aproximadamente 0.8 segundos, también con un comportamiento lineal.

Estas observaciones indican que el sistema funciona adecuadamente, aunque las mejoras en la precisión de la medición de velocidad, como se muestra en la Figura 30, son notables y reflejan un avance en la estabilización y control del sistema de freno y embrague.

**Figura 32 Grafica nueva versión con masa 1**



**Figura 33 Grafica nueva versión con masa 2**



En las Figuras 31 y 32 se ilustra el ciclo de frenado y embragado utilizando diferentes masas. En particular, la masa 1 tiene un peso de 989 g, mientras que la masa 2 tiene un peso de 1661 g. Ambas figuras muestran un comportamiento similar; sin embargo, en la Figura 31, las RPM del árbol motor y el árbol de arrastre se aproximan más entre sí en comparación con la Figura 32, donde se observa una mayor divergencia entre las RPM. Esta diferencia se atribuye a la disparidad en las masas involucradas.

Además, el tiempo de estabilización durante el proceso de embragado es ligeramente mayor en la Figura 32 que en la Figura 31. Esta diferencia en los tiempos de estabilización también es consecuencia de la variación en las masas, donde una mayor masa (como en la Figura 32) implica una mayor inercia, resultando en un proceso de estabilización más prolongado.

Estos comportamientos subrayan la influencia significativa de la masa en la dinámica de los sistemas de frenado y embragado, afectando tanto la convergencia de las RPM como el tiempo requerido para alcanzar la estabilidad operativa. La diferencia en la respuesta del sistema debido a las distintas masas proporciona una comprensión más profunda de cómo la inercia impacta el rendimiento del sistema, permitiendo optimizar su diseño y operación.

## 5.9 Análisis de costos

Tabla 3 Análisis de costos

ANALISIS DE COSTOS					
Descripción	Financiación	Unidad	Cantidad	Costo/unidad [Cop]	Costo parcial [Cop]
<b>1. RECURSO HUMANO</b>					
Director de proyecto	UIS	Hora	10	\$ 40.000.00	\$ 400.000.00
Estudiante	Estudiante	Hora	200	\$ 8.500.00	\$ 1.700.000.00
Estudiante	Estudiante	Hora	200	\$ 8.500.00	\$ 1.700.000.00
Subtotal					\$ 3.800.000.00
<b>2.SOFWARE</b>					
CAD SolidWorks Student Edition	UIS	Año	2	\$ 410.000.00	\$ 820.000.00
Paquete Microsoft office 365	UIS	Año	2	\$ 300.000.00	\$ 600.000.00
Subtotal					\$ 1.420.000.00
<b>3. MATERIALES</b>					
Materiales	Estudiante	Unidad	1	\$ 150.000.00	\$ 150.000.00
Subtotal					\$ 150.000.00
<b>4. EQUIPO Y PAPELERIA</b>					
Literatura	UIS	Año	1	\$ 20.000.000.00	\$ 20.000.000.00
Subtotal					\$ 20.000.000.00
<b>5. DIVULGACION DEL PROYECTO</b>					
Viáticos	Estudiante	Semestre	2	\$ 30.000.00	\$ 60.000.00
Subtotal					\$ 60.000.00
Costo total estudiante					\$ 3.610.000.00
Costo total UIS					\$ 21.820.000.00
Costo total					\$ 25.430.000.00

En la Tabla 3 se presentan los costos asociados al proyecto, los cuales ascienden a un total de 25,430,000 COP. Gran parte del presupuesto fue proporcionado por la Universidad Industrial de Santander, siendo el mayor costo el acceso a la literatura, que alcanza aproximadamente los 20,000,000 COP. Como estudiantes, se aportó trabajo y materiales necesarios para la puesta en marcha y funcionamiento óptimo del banco de freno y embrague, con costos adicionales que suman 150,000 COP, costos asociados a materiales tal como se detalla en la sección 5.1.

Considerando estos costos, el proyecto se considera viable, ya que no presenta riesgos financieros y se adapta perfectamente a la capacidad económica de los estudiantes. Esta viabilidad financiera garantiza que el proyecto pueda ser implementado sin dificultades, asegurando un espacio seguro para las practicas experimentales de los estudiantes.

## 6. Conclusiones

Se reestructura e implementa el banco experimental freno/embrague electromagnético, del laboratorio de diseño de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad Industrial de Santander para el mejorar el aprendizaje, el desarrollo de habilidades técnicas, pensamiento crítico y trabajo en equipo de los estudiantes de ingeniería mecánica mediante la experimentación práctica en estos dispositivos, en un espacio seguro y confiable.

Se elabora un reporte detallado sobre las deficiencias que tiene el banco experimental freno/embrague. A través de la identificación de estas deficiencias, se implementan las medidas correctivas necesarias para abordar los problemas detectados. Esto incluye la sustitución de piezas desgastadas, el ajuste de componentes y la actualización de los sistemas de control y monitoreo. Al mantener el banco en condiciones óptimas, se promueve un entorno de aprendizaje seguro y efectivo, donde los estudiantes pueden desarrollar habilidades técnicas avanzadas y comprender los principios de funcionamiento de los sistemas de freno y embrague electromagnéticos.

El diseño de la interfaz de comunicación compatible con Arduino permite la visualización en tiempo real de los datos y no es obsoleta al pasar el tiempo, es esencial para el funcionamiento eficiente del banco experimental de freno y embrague electromagnético. Esta interfaz asegura que el sistema permanezca relevante y funcional ante futuras actualizaciones tecnológicas.

Asimismo, la implementación de nuevas experiencias de laboratorio, que incluyen la variación de parámetros como la fuerza de embrague, la geometría y la masa, enriquece el conocimiento práctico de los estudiantes sobre los sistemas de freno y embrague. Las prácticas, tituladas "Operación del Banco Freno Embrague", "Ensayo Estático", "Inercia y Curvas de Igualación" y "Variación de la Fuerza", proporcionan una comprensión integral y aplicada de estos sistemas.

La validación del correcto funcionamiento del banco experimental de freno y embrague electromagnético se realizó mediante una serie de pruebas comparativas. Se analizaron y contrastaron las gráficas otorgadas por la literatura más específicamente "Diseño de elementos de máquinas" de Robert L. Mott y las gráficas generadas por la versión anterior del banco con las producidas por la nueva versión, evaluando así la coherencia y fiabilidad de los resultados obtenidos.

Los resultados de estas pruebas demostraron que el banco experimental proporciona datos lógicos y confiables. La capacidad de generar resultados consistentes y comparables con referencias reconocidas en la literatura asegura que el banco experimental sea una herramienta efectiva para el aprendizaje y desarrollo de habilidades técnicas de los estudiantes, así como para la realización de investigaciones relacionadas en sistemas de freno y embrague.

### Bibliografía

- Camilo, J. M. J. (2017). *Diseño y construcción de un banco experimental de freno y embrague para el estudio del comportamiento energético*. <https://noesis.uis.edu.co/items/c8a6282e-9ff5-447b-a5a4-adbbfe70d1be>
- Greenwood, D. C. (1965). *Manual of Electromechanical Devices: Component Types, Characteristics, and Design Applications*.
- Hamrock, B. J., Jacobson, B. O., Schmid, S. R., & Hernández, A. E. G. (2000). *Elementos de máquinas*.
- Hayt, W., & Buck, J. (2012). *Teoría electromagnética*.
- Loper, O. E., Ahr, A. F., & Clendenning, L. R. (1979). *Introduction to Electricity and Electronics*. Delmar.
- Mott, R. L. (2010). *Diseño de elementos de máquinas*.
- Shigley, J. E., Nisbett, J. K., & Budynas, R. G. (2019). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*.
- embrague-i*. (2023, 24 febrero). [Diapositivas]. SlideShare. <https://es.slideshare.net/slideshow/embraguei/256078327#19>
- ¿Cuáles son las prácticas de laboratorio? | Orientanet*. (s. f.). <https://www.orientanet.es/cuales-son-las-practicas-de-laboratorio/>
- Admin, & Admin. (2022, 11 abril). *Conexión y programación del OptoInterrupor LM393 o FC-03 | Robotica de la Costa*. Robotica de la Costa | Aprenda Robótica, Tecnologías E Informática. <https://roboticadelacosta.uy/tutorial-lm393-o-fc-03/>
- Javier Arévalo. (2021, 3 junio). *Exportar Datos de Arduino a Excel en Tiempo Real || Arduino to Excel || [Vídeo]*. YouTube. [https://www.youtube.com/watch?v=cd\\_pDVVApak](https://www.youtube.com/watch?v=cd_pDVVApak)

*Pin on STEM Arduino y rob\u00F3tica (pinterest.es)*

*Figure 2. A 5-bit rotation encoder, using a Gray-code pattern and an. . . (s. f.).*  
 ResearchGate. [https://www.researchgate.net/figure/A-5-bit-rotation-encoder-using-a-Gray-code-pattern-and-an-optical-sensor\\_fig2\\_26498639](https://www.researchgate.net/figure/A-5-bit-rotation-encoder-using-a-Gray-code-pattern-and-an-optical-sensor_fig2_26498639)

*Vector Properties of Rotational Quantities.* (s. f.). <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/rotrv.html>

AngeldeOdin. (2021). Data Streamer: Conecta tu arduino a Excel. EXCEL CUTE.  
<https://excelcute.com/data-streamer-arduino-excel/>

MATLAB - el lenguaje del c\u00e1lculo t\u00e9cnico. (s. f.).  
<https://la.mathworks.com/products/matlab.html>.

Llamas, L. (2016). Controlar Arduino con Python y la librer\u00eda PySerial. *Luis Llamas*.  
<https://www.luisllamas.es/controlar-arduino-con-python-y-la-libreria-pyserial/>

## Anexos

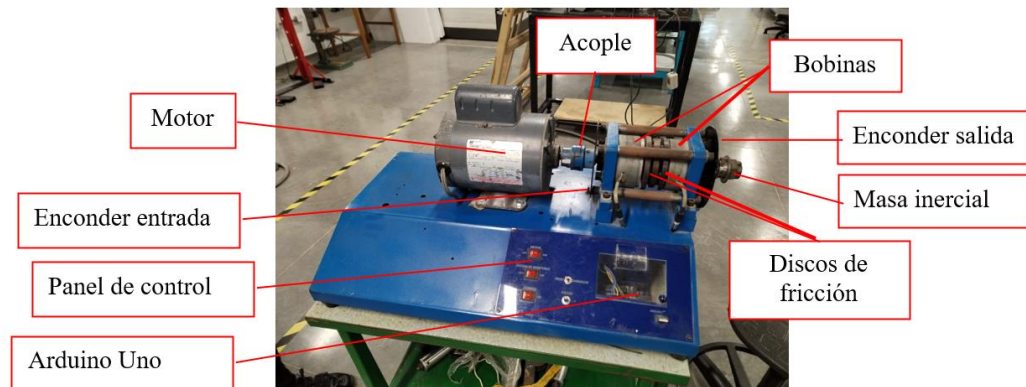
### Anexo A Reporte detallado del banco freno/embrague

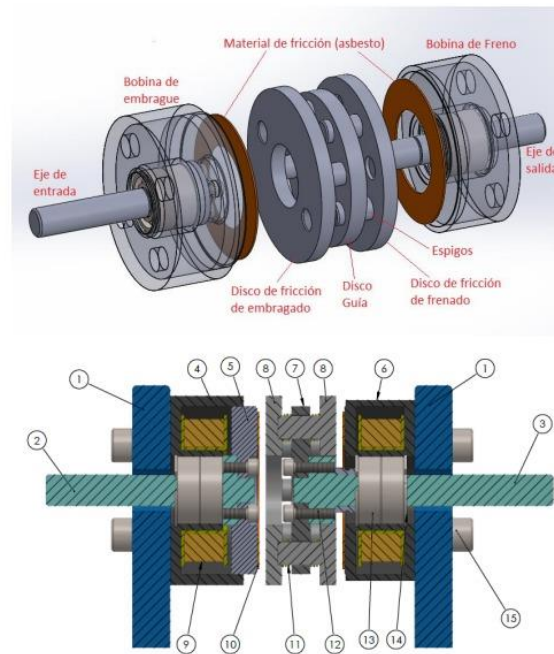
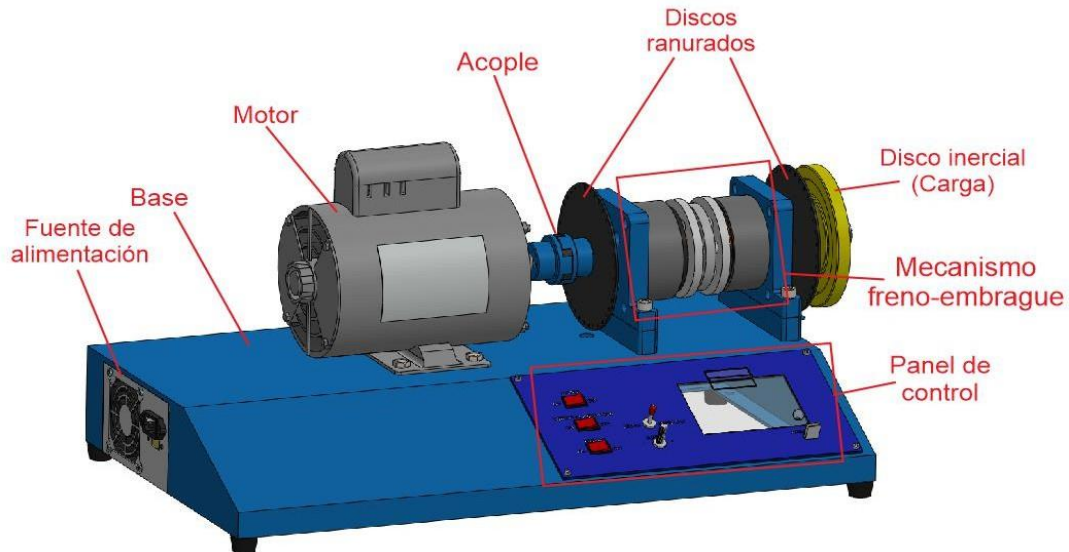
Para garantizar un rendimiento óptimo, del banco freno/embrague electromagnético. Primero se identifican y analizan posibles fallas en las distintas partes y componentes del equipo. Este proceso de evaluación incluye una inspección detallada con distintas técnicas y herramientas de diagnóstico a todos los componentes del sistema, como lo son las bobinas, sistemas de control, elementos de transmisión de potencia y componentes mecánicos asociados.

Al identificar posibles errores, se determina la causa raíz y estima el impacto en el rendimiento general del sistema. A partir de los resultados de esta evaluación, se desarrolla un plan de acción específico para abordar y corregir las deficiencias identificadas.

Inicialmente, se realiza una inspección visual minuciosa de las superficies exterior e interior del banco, para verificar el estado y la integridad de los componentes. Esto con el fin de encontrar signos de desgaste, daños o posibles problemas operativos. Se comprueba el estado funcional del cableado y las conexiones para asegurar el paso de corriente eléctrica.

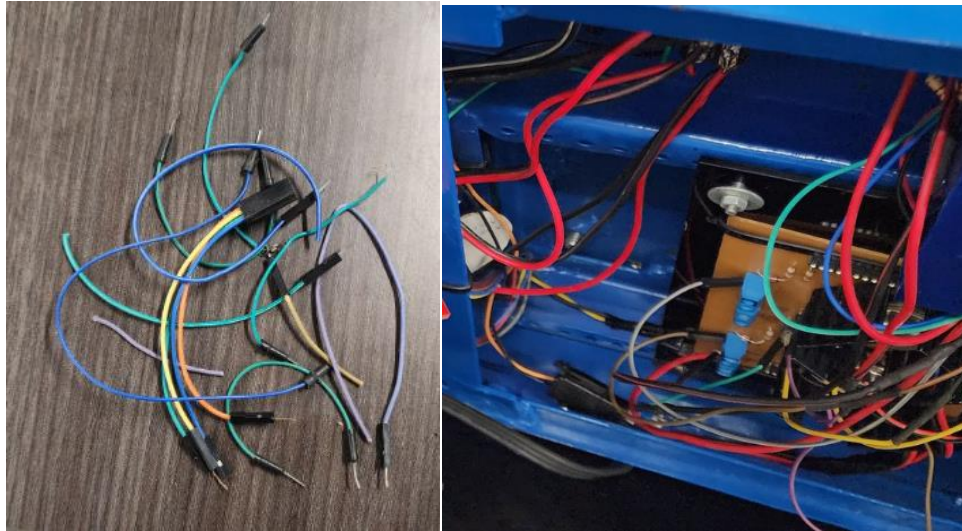
El banco a nivel estructural se encuentra en buen estado, no se identifican grietas ni averías (ver siguiente figura) en los componentes como el motor, bobinas, acople, base, fuente eléctrica, discos ranurados, placas electrónicas, controlador Arduino uno.





La inspección de las conexiones eléctricas reveló daños importantes en el cableado, así como conexiones rotas. Incluye los cables para el interruptor que opera el motor. El interruptor de tres posiciones que controla la bobina y los cables del controlador Arduino Uno

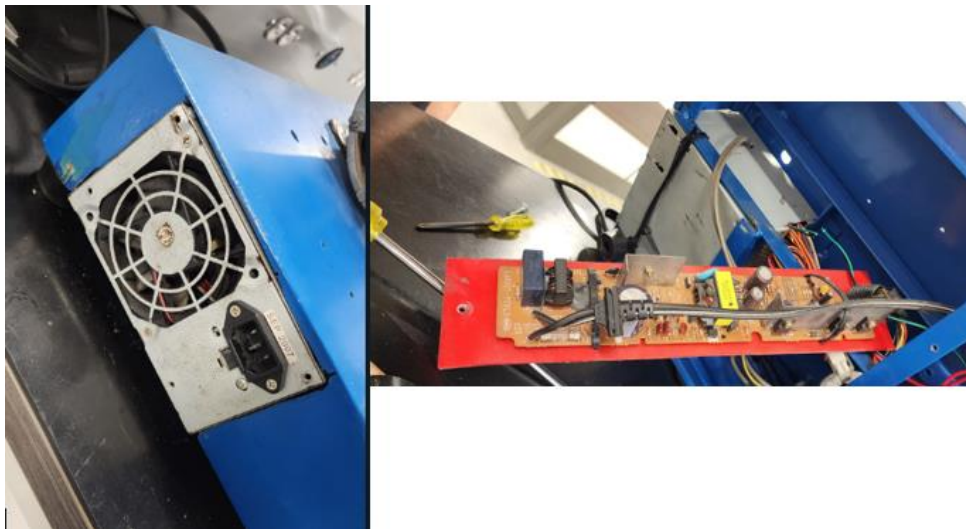
Con el fin de garantizar el buen funcionamiento y seguridad operativa del equipo. Se reemplaza todo el sistema de cableado por alambre 2x18 AWG encauchetado rojo y negro; que identifica positivo, negativo de la conexión y todos los puentes macho – macho (jumpers) del sistema de control.



Seguido, se hace una prueba funcional a las bobinas utilizando una fuente eléctrica configurada a 5 Voltios. El propósito de la prueba fue evaluar la capacidad de respuesta y la integridad de las bobinas. Al suministrar corriente eléctrica, se observa el movimiento creado en las bobinas de freno y de embrague. Este proceso permitió verificar el correcto funcionamiento de ambos componentes, comprobando así que se encuentran en buen estado de funcionamiento y que son capaces de responder adecuadamente a la energización eléctrica.

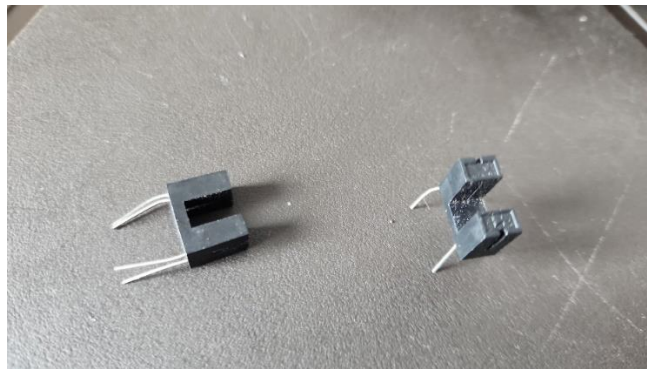


Posteriormente, se llevó a cabo una verificación exhaustiva de las conexiones eléctricas. El banco experimental se conecta a una toma de corriente de 120V para suministrar energía al sistema. Durante esta etapa, se pudo observar el funcionamiento de la fuente transformadora al encender sus ventiladores. Además, se verificó el encendido del sistema de control del motor, el cual respondió adecuadamente y se activó correctamente.



Después de encender el motor y verificar que todos los componentes se mueven correctamente, se procedió a activar el sistema de monitoreo que controla las bobinas y el sistema de control de los sensores de medición. Inicialmente, se observó que el estado embrague, neutro y freno de las bobinas no se establecía adecuadamente, lo que resultaba en un funcionamiento nulo ya que no cumple con la función requerida. Al mismo tiempo, al conectar el Arduino para analizar los datos proporcionados por los sensores (sensor de ranura, no se reconoce el modelo), se detectaron mediciones desproporcionadas en la velocidad de rotación (RPM) del motor, así como en los valores del concenter del embrague y del freno.

Al observar las mediciones incorrectas de los sensores, se procedió a verificar sus conexiones. Sin embargo, los resultados permanecieron consistentes. Para descartar posibles problemas con la placa actual de Arduino Uno, se utilizó otra placa Arduino Uno y se establecieron parámetros de medición. A pesar de estos esfuerzos, se obtuvo el mismo resultado.



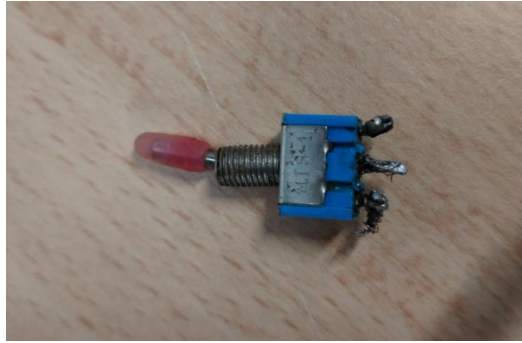
Posteriormente, con ayuda de un multímetro se realizaron pruebas de salida de voltaje en la placa que controla los sensores. Se descubrió que la salida de voltaje para el sensor uno (sensor de embrague) era de 12V, mientras que para el sensor dos (sensor de freno) era de 1.2 voltios, lo que indicaba posibles problemas en la medición. Para confirmar estas sospechas, se conectaron los sensores directamente a la placa de Arduino Uno.

A pesar de ello, las mediciones seguían siendo inexactas, especialmente en el sensor dos.



Como resultado de estas pruebas, se concluyó que los sensores, debido a su antigüedad, presentaban problemas directos. La solución propuesta fue reemplazar los sensores por módulos de encoders ópticos velocidad herradura FC-03, los cuales operan a un voltaje de 5V y cuentan con un circuito integrado LM393 para Arduino Uno. Estos nuevos sensores permitieron simplificar el sistema de control, ya que el circuito integrado de los encoders realizaba la misma función que la placa de control anterior. Por lo tanto, se decidió utilizar estos encoders como una solución para los problemas identificados en el sistema de control de los sensores.

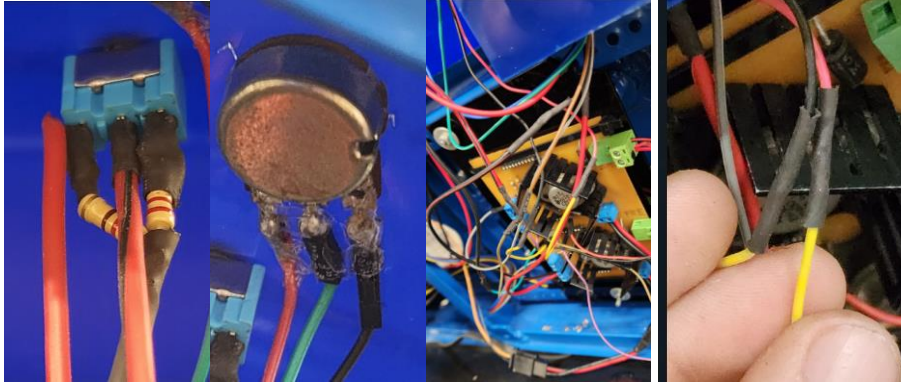
Una vez resuelto el problema relacionado con el sistema de medición y adquisición de datos, se procedió a abordar la cuestión del interruptor que controla los estados de las bobinas (embrague, neutro, freno). Para abordar este problema, se siguió un procedimiento similar al utilizado con los sensores. Sin embargo, se encontró que el inconveniente principal residía nuevamente en la placa de control de las bobinas, la cual era un poco más compleja que la de los sensores.



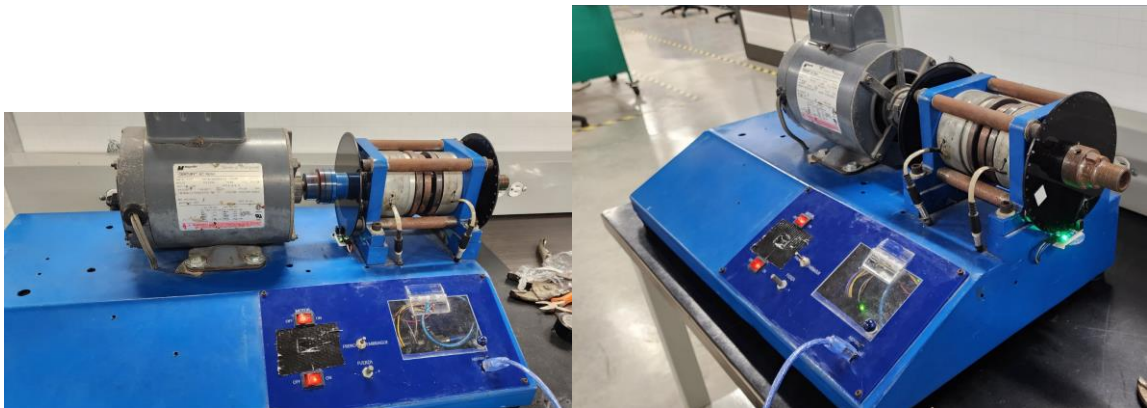
Ante esta situación, se decidió solicitar la asistencia de un técnico experto en el tema para examinar la placa de control de las bobinas. Durante la inspección, se identificó que uno de los transistores responsables de controlar las señales de salida de las bobinas estaba dañado. Como solución, se reemplaza el transistor defectuoso y restaurar así su funcionamiento óptimo.



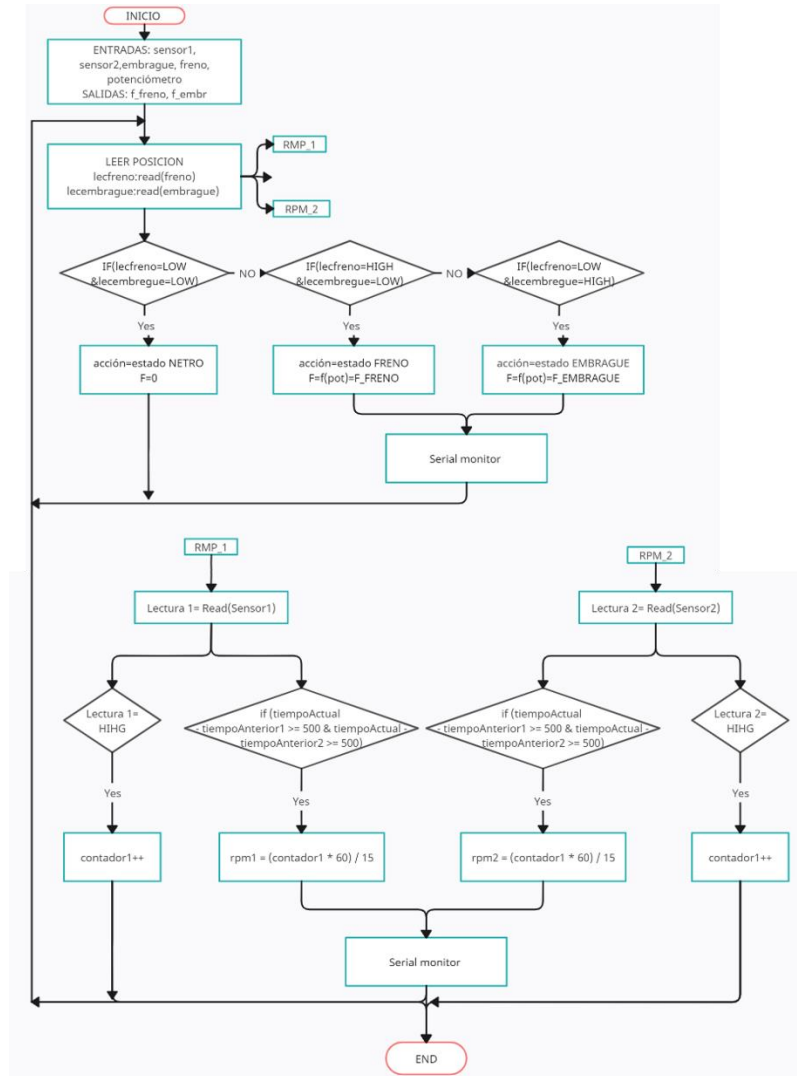
Además, se optó por sustituir el interruptor de tres posiciones de palanca por uno nuevo, así como las resistencias asociadas al control de salida de voltaje, para asegurar su correcto funcionamiento y evitar posibles problemas futuros.



Una vez que el banco ha sido restaurado a su estado funcional, se lleva a cabo una nueva programación del controlador Arduino Uno. El objetivo principal de esta programación es obtener mediciones más precisas que las obtenidas en la versión anterior del banco experimental. Para lograr esto, se realiza una calibración de los sensores de medición de las RPM. Una vez completada la programación y la calibración, se concluye que el banco se encuentra nuevamente en óptimas condiciones de funcionamiento. Este proceso garantiza que el banco esté listo para ser utilizado de manera confiable y precisa en futuros experimentos o pruebas.



A continuación, se presenta el diagrama de flujo del código de Arduino.



### Anexo BB Análisis del circuito modulador de fuerza

El Arduino permite manipular señales PWM (modulación por ancho de pulso, en inglés) que simulan una señal analógica en una carga. Estas señales pueden ser cuadradas o sinusoidales, y su ancho relativo varía en relación con su periodo. Esta variación define el ciclo de trabajo, expresado en porcentaje.

#### Señal PWM de Arduino.

Las señales PWM del Arduino son ampliamente utilizadas en el control de diversas aplicaciones, principalmente motores de corriente continua, pero también válvulas, bombas, sistemas hidráulicos y otros dispositivos mecánicos. La frecuencia de la señal PWM depende de la aplicación y del tiempo de respuesta del sistema que se está controlando.

El ciclo de trabajo indica cuánto tiempo la señal permanece en un estado lógico alto, como un porcentaje del tiempo total de un ciclo completo. La frecuencia determina la rapidez con la que se completa un ciclo y, por lo tanto, la velocidad de cambio entre los estados lógicos alto y bajo.

Al alternar una señal entre los estados alto y bajo a una velocidad suficientemente rápida y con un ciclo de trabajo específico, la salida se comporta como una señal analógica constante.

$$D = \frac{t}{T} * 100\% \quad (\text{Ecu 1})$$

Donde:

- D es el ciclo de trabajo.
- t es el tiempo en que la señal es positiva.
- T es el periodo.

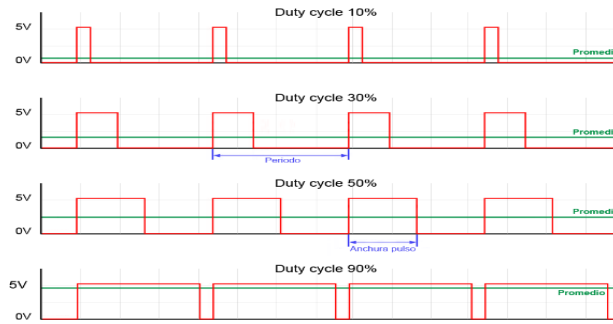
La frecuencia se define como el número de pulsos por segundo; matemáticamente, es la inversa del periodo:

$$f = \frac{1}{T} \quad (\text{Ecu. 2})$$

En la siguiente imagen se presentan diferentes señales PWM con distintos ciclos de trabajo y su voltaje promedio correspondiente.

El periodo se mide en segundos y la frecuencia en Hertz (Hz). Los Hertz limitan el funcionamiento de diversos aparatos electrónicos que operan con señales moduladas.

**Figura. Señales PWM.**



Fuente: LLAMAS, Luis; Artículo Ingeniería, Información y Diseño. 2015

Considerando que el voltaje de salida del Arduino oscila entre un máximo de 5V y un mínimo de 0V, para generar una señal de, por ejemplo, 3V, se podría emplear una señal PWM con un ciclo de trabajo del 60%. Esto significaría que la señal sería de 5V durante el 60% del tiempo.

Si esta señal se conmuta a una velocidad suficientemente alta, el voltaje observado en las terminales del dispositivo parecerá ser el valor promedio de la señal. Por lo tanto, el voltaje

equivalente se puede calcular multiplicando el voltaje máximo correspondiente al estado lógico alto por el ciclo de trabajo:

$$V_{equ} = V_{max} * D \quad (Ecu. 3)$$

Para el ejemplo anterior sería el Voltaje equivalente será:

$$V_{equ} = 5 [V] * 0,6$$

$$V_{equ} = 3 [V]$$

### **Circuito para la adecuación de la señal PWM.**

Dado que el voltaje máximo de salida del Arduino es de 5 V y el voltaje requerido para el funcionamiento de las bobinas es de 25 V, se diseñó un circuito electrónico para esta adecuación.

El circuito se basa en un transistor que permite suministrar cargas a niveles de tensión superiores a los que se pueden proporcionar con las salidas digitales o PWM del Arduino. La elección del transistor se realizó considerando los siguientes parámetros:

Frecuencia máxima generada con un pin PWM del Arduino: hasta 1 kHz

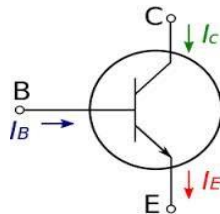
Voltaje de alimentación: 25 V

Corriente consumida por las bobinas: 1 A

Se optó por usar un transistor 2N3055, conocido por su robustez y su capacidad de soportar un voltaje Emisor-Colector máximo de 60 V, hasta 7 A en la base, y una frecuencia de trabajo de hasta 3 MHz.

El transistor tiene tres terminales (emisor E, base B y colector C), como se muestra en la figura; puede ser visto como un interruptor controlado eléctricamente. La corriente de entrada en la base actúa como control: sin corriente en la base, no permite el paso de corriente entre el emisor y el colector. Si la base recibe una corriente moderada, se abrirá proporcionalmente permitiendo el paso de corriente de trabajo; de este modo, el voltaje y la corriente se amplificarán.

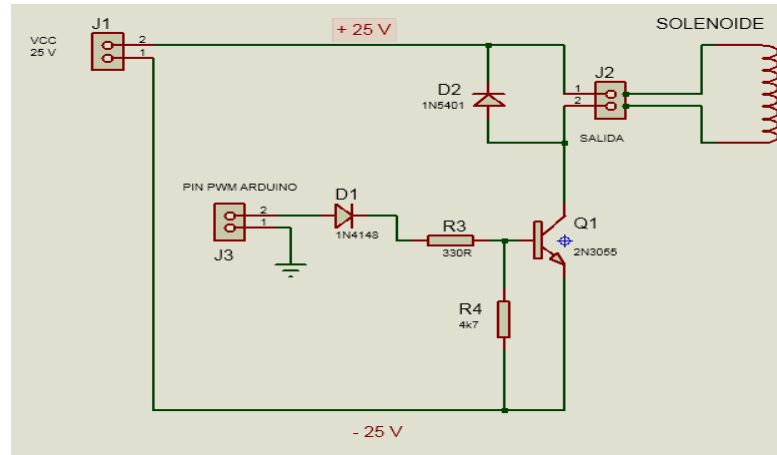
#### **Funcionamiento de los transistores.**



Fuente: <http://www.areatecnologia.com>

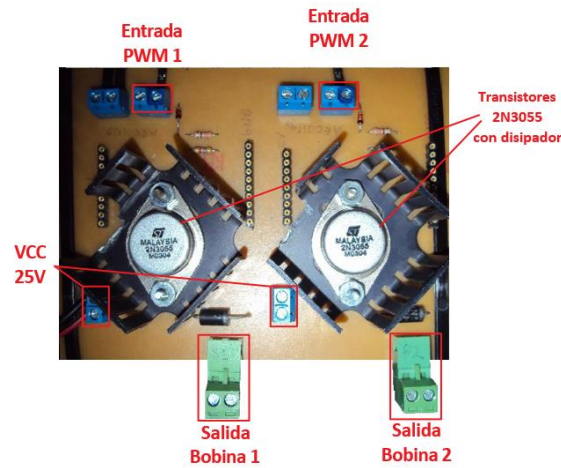
Para amplificar la señal PWM del Arduino y alimentar las bobinas, se utilizaron dos circuitos idénticos, cuyo esquema electrónico se muestra a continuación. El esquema presenta una terminal de entrada VCC para conectar la fuente de 25 V, una terminal de entrada Arduino para conectar la señal PWM, y una salida donde se conecta la bobina.

#### **Esquema electrónico para amplificación PWM**



En la siguiente figura se presenta una fotografía de la tarjeta terminada, destacando las conexiones de entrada y salida a través de borneras. Cabe señalar que se construyeron dos circuitos idénticos en la misma tarjeta, permitiendo el control individual de cada bobina.

### Tarjeta moduladora de fuerza



### Anexo C enlace de descarga carpeta interfaz VBA

<https://drive.google.com/file/d/1d0Pw7Ni3FrPL2N4omRZwzCHre96vcZR2/view>

## Anexo D manual del banco

### Descripción y partes

El banco de pruebas freno-embrague electromagnético es un sistema diseñado para realizar prácticas de laboratorio que retroalimenten la teoría. Está compuesto por varios elementos clave que trabajan en conjunto para simular condiciones operativas realistas y medir parámetros relevantes. A continuación, se detallan los componentes principales:

**Base:** Estructura que proporciona soporte y estabilidad a todos los componentes del banco de pruebas.

**Fuente de Alimentación:** Suministra la energía necesaria para alimentar el banco de pruebas, asegurando un funcionamiento estable.

**Motor:** Proporciona la potencia y el movimiento necesario para las pruebas, simulando condiciones dinámicas similares a las del entorno operativo real.

**Acople:** Componente que conecta el motor con los discos ranurados y las bobinas, facilitando la transmisión eficiente del movimiento y la interacción electromagnética.

**Bobinas:** Parte fundamental del sistema electromagnético que interactúa directamente con el freno-embrague, generando el campo magnético necesario para su operación.

**Discos Ranurados:** Mecanismo que forma parte del sistema de prueba, interactuando con el freno-embrague para simular condiciones de carga y operación.

**Disco Inercial (Carga):** Elemento que simula la carga que el sistema deberá manejar, ayudando a evaluar la capacidad de respuesta y rendimiento del freno-embrague ante diferentes niveles de carga.

**Mecanismo Freno-Embrague:** Componente principal del banco de pruebas, combina las funciones de freno y embrague para simular operaciones de frenado y transmisión de potencia.

**Panel de Control:** Incluye botones, interruptores y controles necesarios para operar y monitorear el banco de pruebas de manera segura y eficiente.

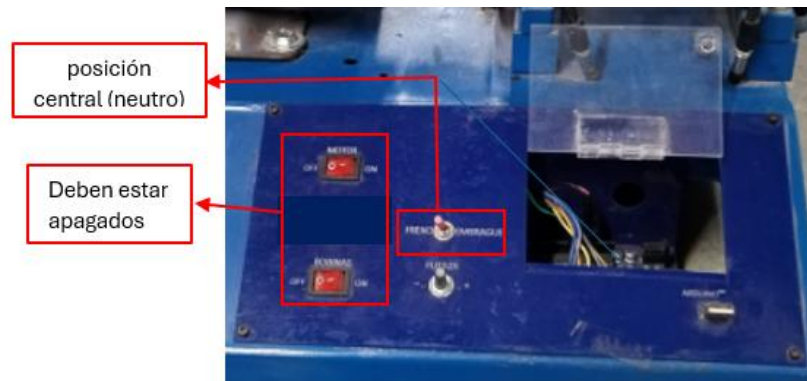
**Encoders (Entrada y Salida):** Proporcionan retroalimentación precisa de posición y velocidad del sistema, esencial para el control preciso y la monitorización durante las pruebas.

**Arduino Uno:** Utilizado para la automatización y control del sistema, permitiendo la programación y recolección de datos en tiempo real, lo cual es crucial para el análisis y la optimización del rendimiento del freno-embrague electromagnético.

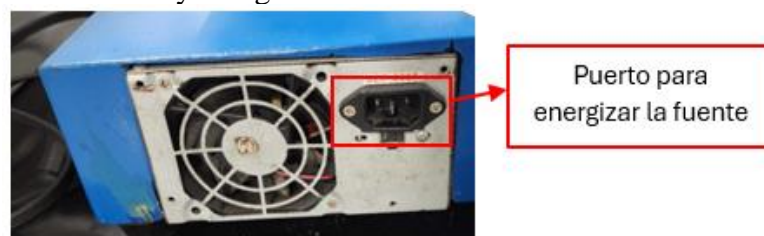
En conjunto, estos componentes forman un banco de pruebas el cual abarca temas muy utilizados en diversos sectores industriales, como el automotriz, el ferroviario y el de maquinaria pesada.

### Modo de uso

1. Verificar en el tablero de mando que ningún Switch este activo, y que este en estado neutro.



2. Colocar el cable a la fuente y energizar.



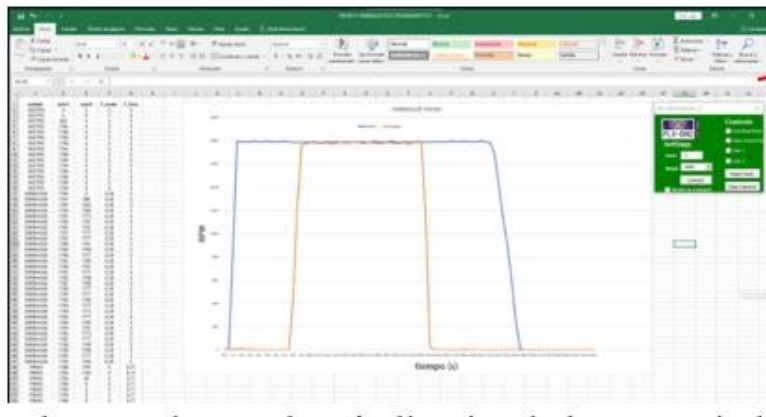
3. Encienda la computadora.

4. Conectar el cable Arduino a la computadora.

Siempre conectar a este puerto COM 3



5. Abrir la interfaz de monitorio de Excel.



Interfaz usuario-dispositivo

6. Verificar que las columnas de Excel están limpias de lo contrario limpiar.

Mantener activo siempre

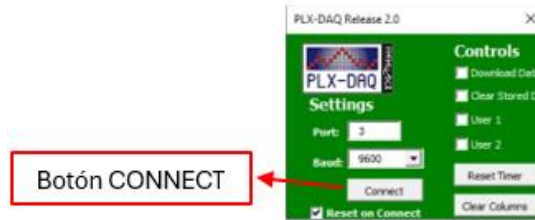
Botón para limpiar columnas

7. Verificar que está en 9600 baudios y el puerto COM al que está conectado.

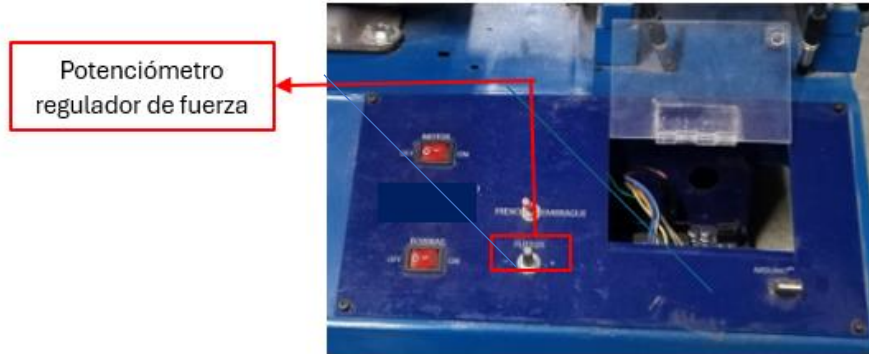
Se debe mantener en COM 3

Que permanezca en 9600

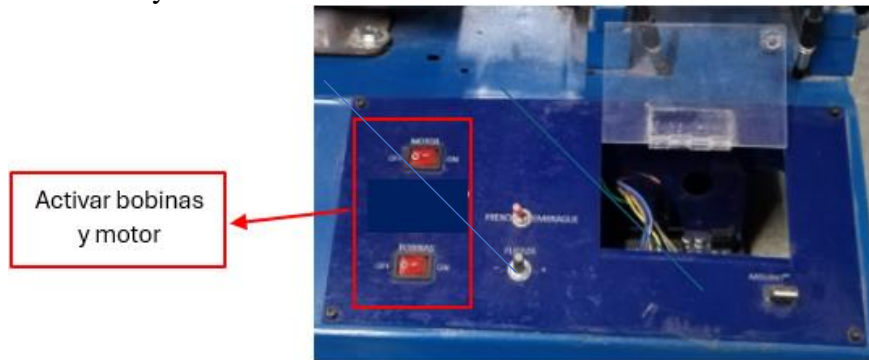
8. Presionar CONNECT para iniciar transmisión.



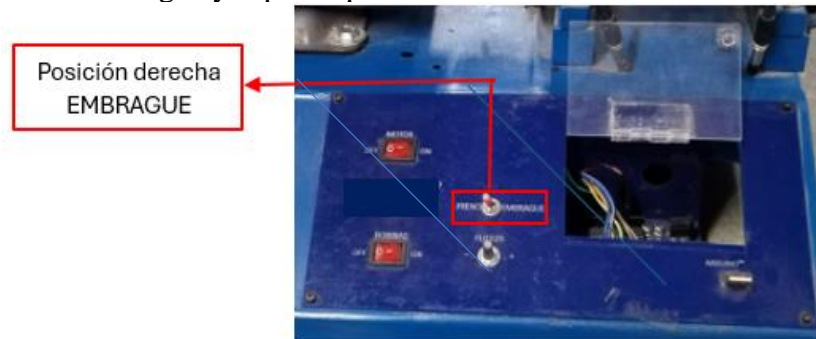
9. Establecer la fuerza de las bobinas a trabajar.



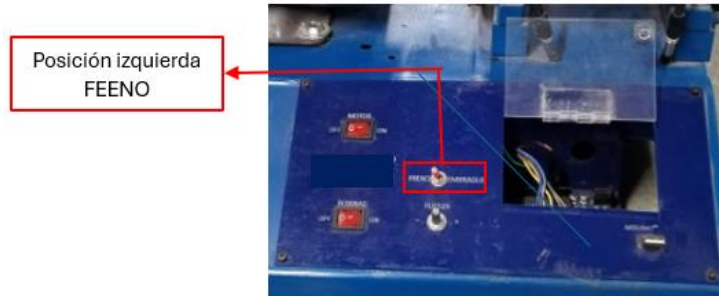
10. Energizar las bobinas y encender el motor



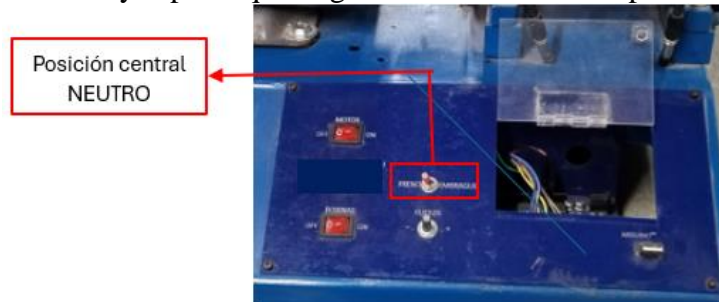
11. Activar bobina de embrague y esperar que las curvas de velocidad se estabilicen



12. Activar bobina freno y esperar que llegue a cero la curva de rpm2



13. Colocar en estado neutro y esperar que llegue a cero la curva de rpm



14. Presionar DISCONNECT para detener transmisión.



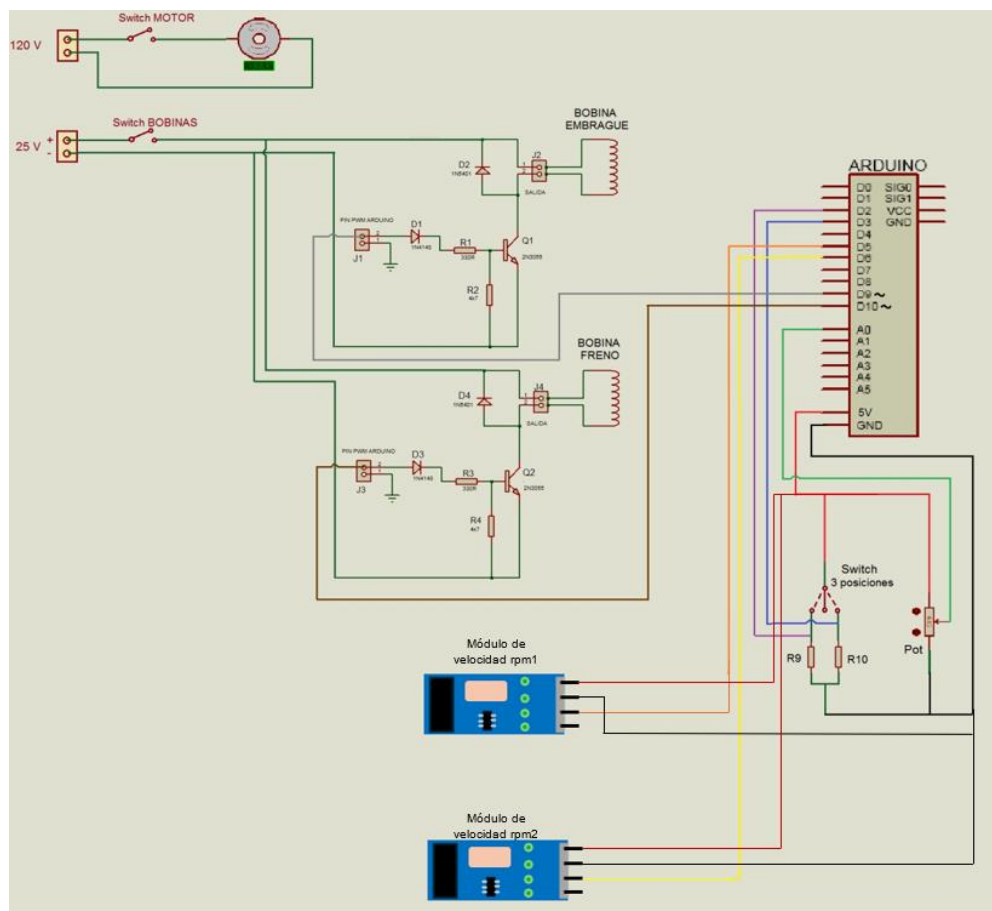
15. Apagar motor y des energizar bobinas

16. Guardar datos obtenidos de la práctica



Circuito eléctrico

CÓDIGO DE COLORES		
Negro	Pin GND	Tierra
Rojo	Pin 5v	Positivo +5v
Verde	Pin A0	Potenciómetro
Morado	Pin D2	Switch Embrague
Azul	Pin D3	Switch Freno
Naranja	Pin D5	Módulo de velocidad rpm1
Amarillo	Pin D6	Módulo de velocidad rpm2
Gris	Pin 10	PWM bobina Embrague
Café	Pin 9	PWM bobina Freno



Planos del banco

Item	Cant	Descripción	Material
1	1	Base	Lamina plegada
2	1	Motor DC	
3	1	Sistema Freno-Embrague	
4	1	Acople rígido	
5	2	Disco ranurado - Encoder	Acrílico
6	2	Disco Inercial	Fundición
7	1	Acople de disco	AISI 1035
8	1	Tuerca	
9	1	Fuente de Poder	
10	1	Tablero de control	Acrílico
11	1	Arduino UNO	
12	1	Base Arduino	Acrílico
14	1	Circuito PWM	
15	4	Patas	Caucho
16	4	Tornillo base	
17	4	Tornillo pasante	
18	4	Tornillo motor	
19	4	tornillo tablero	

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**

FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOMECANICAS | ESCUELA DE INGENIERIA MECÁNICA

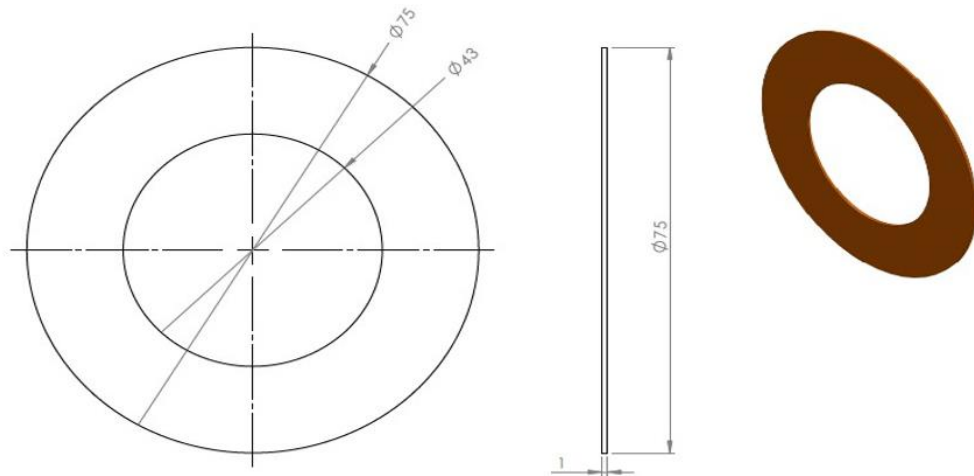
ELABORACIÓN: JULIÁN CAMILO JARA MORA	FECHA: 15-06-2017	TÍTULO: BANCO EXPERIMENTAL DE FRENO Y EMBRAGUE PARA EL ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO ENERGÉTICO
REVISIÓN: ING. RICARDO ALFONSO JAIMES	MATERIAL: VARIOS	CÓDIGO: BFE 01 00 000
OBSERVACIONES:		PLANO N° A4.01   HOJA 1 DE 2   A4 ESCALA: A4

Item	Cant	Descripción	Material
1	2	Base Lateral	Fundición
2	1	Eje de entrada	AISI 1020
3	1	Eje de salida	AISI 1020
4	1	Carcasa bobina embrague	
5	1	Cubierta móvil bobina	
6	1	Carcasa bobina freno	
7	1	Disco guía	
8	2	Discos de fricción	
9	2	Embobinado	Cobre
10	2	Material de fricción	Asbesto
11	8	Resortes	
12	6	Tornillos sujeción	
13	4	rodamientos	
14	3	Anillos de retención	
15	8	Tornillos base	

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**

FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOMECANICAS | ESCUELA DE INGENIERIA MECÁNICA

ELABORACIÓN: JULIÁN CAMILO JARA MORA	FECHA: 15-06-2017	TÍTULO: CORTE SISTEMA FRENO- EMBRAGUE
REVISIÓN: ING. RICARDO ALFONSO JAIMES	MATERIAL: VARIOS	CÓDIGO: BFE 01 01 000
OBSERVACIONES:		PLANO N° A4.02   HOJA 1 DE 2   A4 ESCALA: 1:1



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER			
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOMECANICAS		ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA	
NOMBRE	FECHA	TITULO:	
ELABORACION: JULIAN CAMILO JARA MORA	15-06-2017	MATERIAL DE FRICCION	
REVISION: ING. RICARDO ALFONSO JAIMES			
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM.		MATERIAL:	
OBSERVACIONES: Cotas en mm		ASBESTO	
		CODIGO: BFE 01 01 006	A4
		PLANO N° A4.02	HOJA 1 DE 2
			ESCALA: 1:1

### Anexo E Practicas de laboratorio

En este apartado de anexos, se incluirán imágenes correspondientes a las cuatro prácticas propuestas. Además, se pondrá a disposición de los estudiantes el documento pertinente, el cual estará bajo la supervisión del profesor encargado de la tesis.

Practica No1:

Guía de Practicas del Laboratorio de Diseño  
 Banco freno-embrague electromagnético  
 Universidad Industrial de Santander  
 Escuela de Ingeniería Mecánica



## PRACTICA No 1 OPERACIÓN DEL BANCO FRENO/EMBRAGUE

### Objetivos

- Analizar y entender el funcionamiento del freno y embrague
- Aprender a encender y operar un banco de freno y embrague electromagnéticos.
- Adquirir la capacidad para dar solución a problemas que se presentan en el funcionamiento.
- Familiarizarse con todas las partes y controles del banco de freno y embrague electromagnético.
- Aprender a operar correctamente el interruptor de tres posiciones y el potenciómetro.
- Practicar la operación segura y eficiente del banco

### Introducción

El embrague electromagnético facilita la transferencia de energía entre dos ejes, mientras que el freno electromagnético proporciona una fuerza de frenado para controlar la velocidad del eje de salida. Aunque estos componentes son vitales, su operación puede resultar compleja para los estudiantes, por lo que esta práctica busca clarificar su funcionamiento.

### Planteamiento del problema.

A pesar de la importancia de los embragues y frenos electromagnéticos en los sistemas de transmisión, se tienen dificultades para entender su funcionamiento operativo. Esto incluye cómo se encienden y operan estos componentes, así

como cómo interpretar los datos generados durante su operación. Esta falta de comprensión puede llevar a errores y malentendidos, lo que puede afectar la eficiencia y la seguridad de los sistemas de transmisión.

### Metodología

1. Encienda la computadora.
2. Conecte el cable Arduino a la computadora
3. Abra la interfaz de monitoreo.
4. Verifique que este en estado neutro
5. En el tablero de mando energice las bobinas.
6. En la interfaz escriba la ubicación del puerto COM en el cual está ubicado el Arduino.
7. Establezca 9600 baudios
8. Presiona CONECT.
9. Establezca la fuerza que va a usar con el potenciómetro que está en el tablero de mando.
10. Encienda el motor en el tablero de mando
11. colóquelo en estado embrague y observe la gráfica.
12. Deje la gráfica estable por unos segundos.
13. Colóquelo en estado freno.
14. Espere a que vuelva a cero.
15. En la interfaz de control presione. desconectar.
16. Ve a y analice los gráficos.
17. Realice las respectivas conclusiones.

## Practica No2:

Guía de Practicas del Laboratorio de diseño Banco freno-embrague electromagnético Universidad Industrial de Santander  
Escuela de Ingeniería Mecánica



## PRACTICA No 2 ENSAYO ESTATICO

### Objetivos

- Comparar el torque estático obtenido experimentalmente con el torque teórico calculado utilizando la ecuación de desgaste constante y la ecuación de presión uniforme.
- Analizar el comportamiento del sistema en condiciones de equilibrio y deslizamiento, proporcionando una comprensión profunda de la interacción entre fricción, torque y fuerzas aplicadas.
- Evaluar la eficacia del sistema de embrague en mantener cargas estáticas y su desempeño bajo condiciones de disminución progresiva de la fuerza de fricción.

### Introducción

Este laboratorio estudia un sistema con un eje de entrada bloqueado y un eje de salida al que se aplica un peso  $P$ , generando un torque que hace rotar un disco inercial. Utilizando una bobina de embrague para aplicar una fuerza de fricción  $F$ , se ajusta progresivamente esta fuerza hasta que el sistema comienza a deslizar. Se busca determinar la relación entre  $P$  y  $F$ , y comparar el torque estático experimental con el teórico, utilizando las ecuaciones de desgaste constante y presión uniforme. Esta comparación ayudará a validar los modelos teóricos.

### Planteamiento del problema.

El sistema para estudiar consiste en un eje de entrada bloqueado y un eje de salida al cual se le aplica un peso  $P$  a una distancia  $d$  del eje de rotación. Este peso induce un torque en sentido antihorario, haciendo que el disco inercial de color rojo rote. Para mantener el sistema en equilibrio

estático, se acciona una bobina de embrague que aplica una fuerza de fricción  $F$ . La fuerza de fricción se ajusta de manera progresiva hasta que deja de ser suficiente para mantener el equilibrio, resultando en el deslizamiento del sistema.

### Metodología

1. Realice los pasos de la practica n1.
2. Coloque y ajuste el disco de inercia, asegúrese de estar bien ajustado.
3. Ajuste el objeto encargado de suspender la masa
4. Asegúrese de que las bobinas estén embragadas sea la fuerza máxima.
5. Elija la masa y póngala en el objeto que sostiene la masa, esta masa debe ir aumentándose progresivamente.



Figura 1 péndulo y masa

6. En el potenciómetro de fuerza, empiece a disminuir progresivamente la fuerza hasta que se observe el más mínimo deslizamiento
7. Documente el peso que se usó, la fuerza embrague a la que deslizo.
8. Nuevamente asegúrese que las bobinas estén en estado freno y fuerza máxima y repita las operaciones citadas desde el ítem 5 hasta el 7.
9. Hallar  $T_s$  teórico y experimental para el método de desgaste constante y presión uniforme.
10. Hacer la comparación entre el  $t_s$  teórico y experimental para embrague y freno respectivamente usando la ecuación de %de error.
11. Analizar resultados y realizar conclusiones.

Desgaste Constante <i>dist</i> = 140mm, <i>D</i> =75mm, <i>d</i> =45mm, $\mu_s=0.45$						
Peso(gf)	Fembr(N)	Ffreno(N)	TsEmbr (Nm)	TsFreno (Nm)	%error Embr	%error Freno

Presión Uniforme <i>dist</i> = 140mm, <i>D</i> =75mm, <i>d</i> =45mm, $\mu_s=0.45$						
Peso(gf)	Fembr(N)	Ffreno(N)	TsEmbr (Nm)	TsFreno (Nm)	%error Embr	%error Freno

Ecuaciones que usar:

• Desgaste constante:  
**Torque teórico:**

$$T_s = \mu_s * \left(\frac{f}{4}\right) * (D + d)$$

Donde:  
*T<sub>s</sub>* es el torque  
 $\mu_s$  es el coeficiente de fricción estático  
*f* es la fuerza  
*D* es el diámetro mayor  
*d* diámetro menor

**Torque experimental:**  
*T<sub>s</sub>* = *P* \* *dist*  
 Donde:  
*P* es el peso

*dist* es la distancia  
 • Presión uniforme:  
 Torque teórico:

$$T_s = \mu_s * \left(\frac{f}{3}\right) \left[\frac{D^3 - d^3}{D^2 - d^2}\right]$$

Donde:  
*T<sub>s</sub>* es el torque  
 $\mu_s$  es el coeficiente de fricción estático  
*f* es la fuerza  
*D* es el diámetro mayor  
*d* diámetro menor

**% error:**  

$$\%error = \frac{t_{s\text{exp}} - t_{s\text{teorico}}}{t_{s\text{teorico}}} * 100$$

**Practica No3:**

Guía de Practicas del Laboratorio de diseño Banco  
freno-embrague electromagnético Universidad  
Industrial de Santander  
Escuela de Ingeniería Mecánica



### PRACTICA No 3 INERCIA Y CURVAS DE IGUALACION

**Objetivos**

- Comprender cómo las masas inerciales afectan el rendimiento de un sistema de freno y embrague electromagnético.
- Llevar a cabo experimentos variando las masas inerciales y observar cómo estos cambios afectan la eficiencia y el rendimiento.
- Recopilar y analizar los datos experimentales para entender la relación entre las masas inerciales y el rendimiento del sistema de transmisión.
- Analizar resultados mediante la comparación grafica de las curvas de igualación.

**Introducción**

Esta práctica de laboratorio se centra en el estudio del impacto de las masas inerciales en el rendimiento de un banco de freno y un embrague electromagnético. A través de experimentos prácticos, exploraremos cómo las variaciones en las masas inerciales pueden influir en la eficiencia y el rendimiento de estos sistemas de transmisión. Esta experiencia nos permitirá entender mejor los principios de funcionamiento de los embragues.

**Planteamiento del problema.**

En sistemas de transmisión, las masas inerciales pueden afectar su rendimiento, la comprensión de cómo las masas inerciales afectan su funcionamiento puede ser un desafío. Se busca saber cómo los cambios en las masas inerciales influyen en la eficiencia y el rendimiento del banco de freno y el embrague electromagnético.

**Metodología**

1. Seguir los pasos de la practica numero 1
2. Asegúrese que el banco este en un estado inicial neutro.
3. Inicie el motor sin ningún tipo de inercia, cambie el estado del banco a embrague.
4. Observe las graficas proporcionadas en tiempo real y una vez se estabilice la curva de embrague, contabilice 20sg y cambie a estado freno.
5. Una vez se detenga el eje, cambie a estado neutro, guarde sus datos.
6. Escoja el disco de inercia, haga el respectivo montaje y asegúrese de ajustarlo correctamente.



Figura 1 masas inerciales

*Figura 1 masas inerciales*

7. Repita los ítems 3,4,5.
8. Analice los datos y graficas.
9. Haga sus respectivas conclusiones.

## Practica No4:

Guía de Practicas del Laboratorio de diseño Banco freno-embrague electromagnético Universidad Industrial de Santander  
Escuela de Ingeniería Mecánica



## PRACTICA No 4 VARIACION DE LA FUERZA

### Objetivos

- Comprender el impacto de la variación de la fuerza de las bobinas en el embragado y frenado del sistema
- Analizar la energía de rotación, al aplicar una fuerza al sistema.
- Experimentar con la variación de la fuerza de las bobinas y observar sus efectos en el sistema.
- Analizar los resultados obtenidos y relacionarlos con la teoría

### Introducción

es esencial explorar cómo la variación de la fuerza de las bobinas influye en los procesos de embragado y frenado. Además, entender el intercambio energético que ocurre cuando se aplican diferentes fuerzas al sistema es crucial para optimizar su rendimiento. A través de experimentos que manipulan estas variables, se pueden observar los efectos directos en el funcionamiento del sistema y comparar los resultados con las teorías existentes.

### Planteamiento del problema.

La fuerza de las bobinas en los sistemas de freno y embrague electromagnéticos es

crucial para garantizar un acoplamiento y desacoplamiento entre el motor y el eje de salida. Se requiere saber cómo la variación de la fuerza de las bobinas afecta su rendimiento

### Metodología

1. Seguir la metodología de la practica número 1.
2. Asegúrese que el banco este en un estado inicial neutro.
3. Seleccione una masa inercial y ajústela correctamente, para esta práctica la vamos a mantener fija.
4. Inicialmente ajuste fuerza máxima del sistema
5. Encienda el motor y cambie a estado embrague.
6. Observe las gráficas proporcionadas en tiempo real y una vez se establezca la curva de embrague, cambie a estado freno.
7. Guardar los datos obtenidos.
8. Calcule la inercia del disco y la energía de rotación.
9. Ajuste la fuerza al 75%.
10. Repita los ítems 5,6,7,8.
11. Ajuste la fuerza al 50%.
12. Repita los ítems 5,6,7,8.
13. Realice las respectivas conclusiones.

Fuerza= 100%					
Inercia [kg m <sup>2</sup> ]	Tiempo [s]	$\Delta\omega$	Energía de rotación [J]	% error	Desviación estándar

Fuerza= 75%					
Inercia [kg m <sup>2</sup> ]	Tiempo [s]	$\Delta\omega$	Energía de rotación [J]	% error	Desviación estándar

Fuerza= 100%					
Inercia [kg m <sup>2</sup> ]	Tiempo [s]	$\Delta\omega$	Energía de rotación [J]	% error	Desviación estándar

Momento de inercia:

$$I = m(R_{ext}^2 + R_{int}^2)$$

Donde:

$m$ : masa

$R_{ext}$ : radio externo

$R_{int}$ : radio interno

Energía cinética de rotación:

$$E = \frac{1}{2} I * \Delta\omega^2$$

Donde:

$I$ : momento de inercia

$\Delta\omega$ : cambio de velocidad angular