

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

# Diseño de un Freno Mecánico para Máquinas Eléctricas

Cristian Alonso Ochoa Aristizabal.

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:  
Ingeniero Electromecánico

Asesor  
Santiago Gómez Arango

Instituto Tecnológico Metropolitano - ITM  
Facultad de Ingenierías  
Departamento Ingeniería Mecatrónica y Electromecánica  
Medellín, Colombia  
2022

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

## RESUMEN

Los frenos para motores eléctricos constituyen una parte fundamental en un diseño de ingeniería, son utilizados donde se requiere disminuir o parar de manera inmediata ciclos de trabajo ejercidos por el movimiento mecánico de cualquier tipo de motor, se pueden utilizar de manera segura sin afectar la integridad física de las personas y la de cualquier mecanismo.

Este trabajo propone un diseño de freno mecánico para los motores y generadores del laboratorio del Instituto Tecnológico Metropolitano ITM, con el fin de optimizar mecanismo de frenado rápido.

Se realizó una investigación exploratoria y teórica con base a la información de los fabricantes de motores, documentos científicos, textos de física con modelos que apliquen para el diseño del freno mecánico; el diseño describe las variables mecánicas como fuerzas de fricción, temperatura y las pruebas bajo estados de carga. Adicionalmente se calculó la velocidad del motor con su carga axial y la afectación de la potencia en la máquina.

Posteriormente, con el análisis de los aspectos técnicos de los motores eléctricos, se tomaron como base las características mecánicas y los datos de información de placa por parte del fabricante y se propuso un modelo a través del software CAD- SolidWorks de diseño industrial, que permitió plantear el freno mecánico para los motores del laboratorio de máquinas eléctricas. Finalmente, se seleccionó el freno de zapata larga externa que presenta como principal ventaja un frenado práctico, un modelo para los diferentes motores del laboratorio y la capacidad de frenar los motores de una manera segura, cuando se realice cualquier práctica en el laboratorio del Instituto Tecnológico Metropolitano - ITM.

*Palabras clave: motor electrico, embrague, tambor, potencia, frenos, carcasa, eje, zapata, sinterización, materiales orgánicos, fricción, temperatura, velocidad, ciclos de trabajo.*

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

## RECONOCIMIENTOS

---

Al apoyo constante de mis Padres que con su ejemplo demuestran el amor incondicional en todo tipo de situación, a la perseverancia y amor de Liz de estar apoyándome en toda circunstancia, en Fernanda y Alicia que siempre son motivo y motor en mi vida de buscar nuevas oportunidades para mis objetivos y metas, en Santiago maestro de la institución que fue un guía durante el desarrollo del trabajo de grado.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

# ACRÓNIMOS

---

RPM: Revoluciones por minuto.

FRAME: Tamaño constructivo de un motor eléctrico.

T: Torque.

$F_n$ : Fuerza concentrada en el centro del área de contacto.

Cv: Caballo de vapor.

SINTERIZACIÓN: tratamiento térmico de un polvo o compactado metálico a una temperatura inferior a la de fusión de la mezcla, para incrementar la fuerza y la resistencia de la pieza creando enlaces fuertes entre las partículas.

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

# TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN .....	2
RECONOCIMIENTOS.....	3
ACRÓNIMOS.....	4
1. INTRODUCCIÓN.....	8
OBJETIVOS.....	9
Objetivo General .....	9
Objetivos Específicos .....	9
Organización de la Tesis.....	9
2. MARCO TEÓRICO .....	10
Materiales para Embragues y Frenos .....	10
Frenos de Fricción .....	11
Frenos Magnéticos.....	12
Frenos de Histéresis Magnética .....	14
Frenos de Disco.....	15
Frenos de Tambor .....	16
Frenos de Tambor con Zapata Interna Larga.....	17
Frenos de Tambor con Zapata corta Externa. ....	18
Frenos de Tambor Externos con Zapata Larga .....	20
Materiales para Frenos .....	25
Material para Revestimiento .....	26
Materiales Estructurales para Frenos.....	29
Acero al Carbón 1040 (AISI 1040) .....	29
Definición de Potencia. ....	30
Potencia de un motor .....	31
3. METODOLOGÍA .....	32
4. RESULTADO Y DISCUSIÓN .....	33
Selección de Freno de Zapata Larga Externa .....	34
5. CONCLUSIONES, RECOMENDADOS Y TRABAJO FUTURO .....	54
REFERENCIAS.....	55

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Propiedades de Materiales Comunes para Forro de Embragues y Frenos. (Norton Robert L., 2006, p. 831)</i> .....	11
Tabla 2 <i>Coefficiente de Fricción en Seco <math>\mu</math>(Araque de los Ríos, 2012, p 29)</i> .....	29
Tabla 3 <i>Propiedades Mecánicas Acero 1045(Especiales, 2019, p.2)</i> .....	30

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Sistema de Freno de Pedal de Automóvil (Enelcoche.com, 2020, p. 1)</i> .....	12
Figura 2 <i>Freno magnético (EIDE, 2022, p. 1)</i> .....	13
Figura 3 <i>Freno Magnético Adaptación a Polea(EIDE, 2022, p.1)</i> .....	13
Figura 4 <i>Freno Magnético Adaptación a Eje(EIDE, 2022, p.1)</i> .....	14
Figura 5 <i>Freno Magnético con Histéresis (Mejicoro, 2022, p.1)</i> .....	15
Figura 6 <i>Freno Magnético con Histéresis representación interna(Mejicoro, 2022, p.2)</i> .....	15
Figura 7 <i>Freno Disco Para Automóvil(MITSUBISHI, 2021, p. 4)</i> .....	16
Figura 8 <i>Freno de Tambor Para Automóvil(Champions.partes.es, 2022, p.3)</i> .....	17
Figura 9 <i>Freno de Tambor de vehículo con Zapata larga interna(E-auto.com.mx, 2022, p.4)</i> .....	18
Figura 10 <i>Geometría y Fuerzas de un Freno de Tambor con Zapata Externa Corta. Montaje de Freno. Elaboración propia</i> .....	19
Figura 11 <i>Geometría y Fuerzas de un Freno de Tambor con Zapata Externa Corta Diagrama de Cuerpo Libre. Elaboración propia</i> .....	20
Figura 12 <i>Geometría y fuerzas en un Freno de Tambor Externo con Zapata Larga. Montaje Freno Zapata Larga. Elaboración propia</i> .....	21
Figura 13 <i>Geometría y Fuerzas en un Freno de Tambor Externo con Zapata Larga. Diagrama Cuerpo Libre Zapata Larga. Elaboración propia</i> .....	22
Figura 14 <i>Juego de pastas para freno de disco con metal sinterizado con partículas de cerámica(Tuningblog.eu, 2021, p.2)</i> .....	26
Figura 15 <i>Pasta para freno de disco con material orgánico como caucho y fibra(Tuningblog.eu, 2021, p.3)</i> .....	27
Figura 16 <i>Dispositivo de freno utilizado(Araque de los Ríos, 2012, p.27)</i> .....	28
Figura 17 <i>A. Dimensiones Sistema de Acople, B. Diámetro del Eje, C. Espacio Entre Brida y Acople, D. Caja de Conexiones Eléctricas del Motor. (Registro fotográfico motor 1 Cv del laboratorio del Instituto Tecnológico Metropolitano)</i> .....	34

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Figura 18 Placa del Motor de 1Cv del Laboratorio Máquinas Eléctricas (Registro fotográfico motor 1 Cv del laboratorio del Instituto Tecnológico Metropolitano).....	35
Figura 19 Presentación modelo y sus dimensiones propuesto para la implementación del freno mecánico. Elaboración propia.....	39
Figura 20 Vista Frontal del Motor con sus dimensiones. Elaboración Propia.....	40
Figura 21 Dimensiones Carcaza Motor. Elaboración Propia.....	41
Figura 22 Modelo Presentación General del Motor Elaborado en SolidWorks. Elaboración Propia. ....	42
Figura 23 Elaboración del Diseño Freno Mecánico del Motor y sus componentes. Elaboración Propia .....	43
Figura 24 A. Modelo del Motor con Acople. B. Modelo del Motor sin Acople. Elaboración Propia .....	44
Figura 25 Unión Inferior. Elaboración propia.....	45
Figura 26 Banda Izquierda Dimensiones. Elaboración Propia .....	46
Figura 27 Modelo banda Izquierda con el Material. Elaboración Propia .....	47
Figura 28 Dimensiones Banda Derecha. Elaboración Propia .....	48
Figura 29 Modelo Banda Derecha con el Material. Elaboración Propia.....	49
Figura 30 Palanca del freno. Dimensiones. Elaboración Propia .....	50
Figura 31 Palanca del freno. con el Material. Elaboración Propia.....	50
Figura 32 Modelo Unión Superior Dimensiones y con el Material. Elaboración Propia .....	51
Figura 33 Modelo Corcho Material Intercambiable Dimensiones. Elaboración Propia .....	52
Figura 34 Modelo de corcho como material de fricción. Elaboración Propia .....	53

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

# 1. INTRODUCCIÓN

En el laboratorio de máquinas eléctricas del Instituto Tecnológico Metropolitano ITM no cuentan con un mecanismo de frenado rápido para los diferentes tipos de motores y generadores eléctricos, debido a la literatura limitada o documentos técnicos que relacionen temas acerca de frenos mecánicos para motores eléctricos.

De lo anterior, se genera la necesidad de un diseño de freno mecánico para motores eléctricos, donde se abordaron conceptos teóricos acerca de la mecánica del movimiento y variables físicas. Se definieron diferentes alternativas, tomando como referencia el principio de funcionamiento, la manera en que transfieren la energía entre sus elementos o la naturaleza de su instalación.

Con el levantamiento de la información técnica de los motores eléctricos existentes en el laboratorio, se utilizó la información de la placa del fabricante, las características mecánicas y sus dimensiones, se visitó el laboratorio tomando las medidas de ejes, acoples, carcaza que permitieron modelar el motor en el software de diseño industrial SolidWorks donde se realizó un prototipo del freno mecánico.

Después del levantamiento de información técnica se realizaron los cálculos mecánicos del movimiento y variables físicas para los motores, donde se abordaron documentos técnicos acerca de materiales de fricción que cumplieran las condiciones de trabajo de frenado rápido para motores eléctricos y se sugirieron materiales de fricción del prototipo del freno que no generan daños para la salud humana y para el medio ambiente.

Por último, se realizó el diseño de freno mecánico de acuerdo con las características técnicas para los motores de un 1Cv que son más utilizado en el banco de pruebas del laboratorio del Instituto Tecnológico Metropolitano ITM; el cual pretende que sea adaptable a los diferentes motores, generadores de laboratorio y que sea la base para un posible prototipo en la implementación de un freno para los motores de laboratorio.

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

## OBJETIVOS

### Objetivo General

Diseñar un freno mecánico para maquinas eléctricas didácticas.

### Objetivos Específicos

Levantar información, de las dimensiones, las características eléctricas y mecánicas de los motores del laboratorio del Instituto Tecnológico Metropolitano a intervenir para el diseño del freno mecánico.

Analizar los diseños disponibles para los frenos que sean acordes para el laboratorio de máquinas eléctricas del Instituto Tecnológico Metropolitano.

Diseñar el prototipo del freno mecánico para los motores del banco de las pruebas del Instituto Tecnológico Metropolitano.

### Organización de la Tesis

La presentación de este trabajo inicia con el marco teórico que describe los diferentes tipos de frenos, embragues y materiales que son utilizados para las maquinas rotativas, posteriormente se seleccionan los tipos de frenos que se ajusten al modelo de zapata larga externa, a los frenos mecánicos de los motores del banco de pruebas y referenciando los materiales de fricción que sean adecuados para el medio ambiente y que no afecten la integridad física de las personas.

Seguido se presenta la metodología para la elaboración del diseño del freno mecánico, la gráfica de componentes mecánicos y eléctricos de la industria.

En la sección de resultados, se describen los modelos de cálculo partiendo de la información de placa de los motores, la teoría acerca del cálculo mecánico y sobre la base de trabajos en laboratorios de pruebas para materiales de fricción de otras instituciones educativas. Por último, se presentan el diseño de la propuesta del prototipo incluidos los cálculos mecánicos y finalmente un diseño.

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

## 2. MARCO TEÓRICO

Los frenos constituyen una parte fundamental del diseño y desarrollo de los elementos de máquinas porque son dispositivos capaces de modificar el estado de movimiento de un sistema mecánico, mediante un dispositivo que permite una conexión ya sea por fricción, magnética, hidráulica o mecánica entre dos elementos de máquina, donde uno de los dos elementos gira y el otro es fijo (Álvarez V. et al., 2007, p.188)

Los frenos se pueden clasificar de diferentes formas, ya sea por la manera de funcionar o por la manera en que transfieren la energía entre sus elementos o la naturaleza de su instalación. La manera de funcionar puede ser mecánica, como al oprimir el pedal del embrague de un automóvil; neumática o hidráulica, donde la presión de un fluido impulsa un pistón que activa o desactiva un dispositivo. Sin embargo, los frenos eléctricos que se usan es mediante fricción mecánica simple, del mismo modo que detenemos un carro. Un método más elegante consiste en hacer circular una corriente inversa en la armadura, para frenar el motor eléctricamente (Theodore, 2017, p. 109).

### **Materiales para Embragues y Frenos**

Es importante mencionar las condiciones y las características que deben cumplir los materiales para las piezas estructurales de embragues y frenos como los discos o tambores, generalmente están hechos de hierro o acero fundido. Las superficies de fricción normalmente están recubiertas con un material que tiene un buen coeficiente de fricción, así como suficiente resistencia a la compresión y resistencia a la temperatura para la aplicación.

Por ejemplo, la fibra de asbesto alguna vez fue el ingrediente más común en los recubrimientos de embragues o frenos, pero en muchas aplicaciones ya no se usan debido al riesgo que representa como elemento cancerígeno. Los forros son de materiales moldeados, tejidos, sinterizados o sólidos. Los recubrimientos moldeados, por lo general, llevan resinas de polímeros para unir una variedad de rellenos de materiales en polvo o fibrosos. Algunas veces se agregan pedazos de latón o de zinc, con la finalidad de mejorar la conducción del calor y la resistencia al desgaste, así como para reducir la estriación de tambores y discos. Los materiales tejidos utilizan a menudo fibras de asbesto. Los metales sinterizados proporcionan mayores resistencias a la temperatura, más que los materiales moldeados o tejidos. Materiales como corcho, madera y hierro fundido, también se emplean en ocasiones como recubrimientos muestra algunas

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

propiedades de fricción térmicas y mecánicas de unos cuantos materiales de recubrimiento para fricción. (Norton Robert L., 2006, p. 830).

En la Tabla 1, se describen algunos tipos de frenos disponibles comercialmente y sus aplicaciones típicas; también se analizarán la teoría y el diseño de algunos tipos específicos de embragues y frenos.

**Tabla 1**

*Propiedades de Materiales Comunes para Forro de Embragues y Frenos. (Norton Robert L., 2006, p. 831)*

Material de Fricción contra acero o hierro fundido	Coeficiente de Fricción dinámica		Presión Máxima		Temperatura Máxima	
	Seco	En Aceite	Psi	KPa	°F	°C
<b>Moldeado</b>	0,250,45	0,06–0,09	150–300	1030-2070	400–500	204-260
<b>Tejido</b>	0,25–0,45	0,08–0,10	50–100	345-690	400–500	204-260
<b>Material Sinterizado</b>	0,15–0,45	0,05–0,08	150-300	1030-2070	450-1250	232-677
<b>Hierro Fundido o Acero Duro</b>	0,15–0,25	0,03–0,06	100-250	690-720	500	260

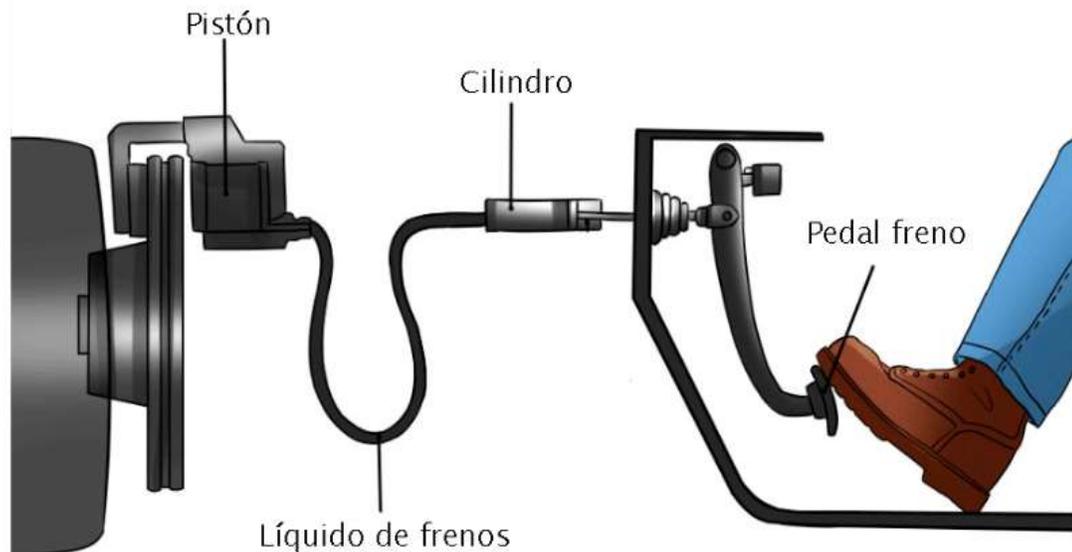
### Frenos de Fricción

El freno de fricción se da por la existencia de fuerzas tangenciales que aparecen entre dos superficies sólidas en contacto cuando permanecen unidas por la existencia de esfuerzos normales a las mismas. En la Figura 1, el proceso de frenado se reduce la velocidad del vehículo por medio de la fricción, convirtiendo la energía cinética o potencial del mismo en calorífica, provocando un aumento de la temperatura global del sistema. Esta transformación se realiza mediante el contacto de dos superficies del sistema de frenado (Criado, 2012, p. 38).

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

**Figura 1**

*Sistema de Freno de Pedal de Automóvil (Enelcoche.com, 2020, p. 1).*



### **Frenos Magnéticos**

El embrague electromagnético está formado básicamente por un núcleo inductor o bobina y un disco inducido con un muelle tipo membrana, donde el núcleo inductor se centra en relación al eje y se fija a la bancada de la máquina (ver Figura 2) al aplicarle una tensión (de 24 Voltios de corriente continua) a la bobina, se forma un campo magnético que atrae al disco inducido provocando una deformación en el muelle-membrana, produciéndose la fricción entre ambas superficies, realizándose el frenado. Al quitar la corriente, la pieza recupera su posición de origen, cesando el frenado. (EIDE, 2022, p. 1).

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

**Figura 2**

*Freno magnético (EIDE, 2022, p. 1)*

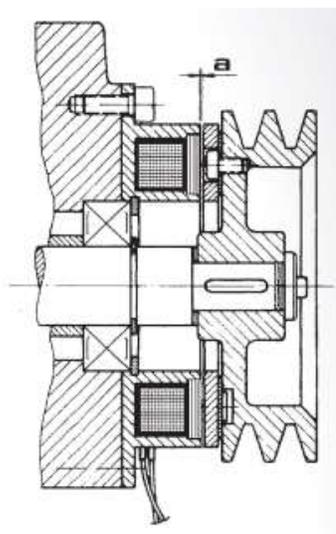


Ejemplos de montaje de frenos magnéticos de acuerdo a su forma de instalación.

En la Figura 3 se presenta la adaptación a polea que es utilizada para ser montado directamente sobre polea, piñón de cadena donde las aplicaciones se requieren parar de manera inmediata el motor en caso de un corte o fallo de energía. Su funcionalidad es estar activo (bloqueado) cuando no se encuentre energizado.

**Figura 3**

*Freno Magnético Adaptación a Polea(EIDE, 2022, p.1)*

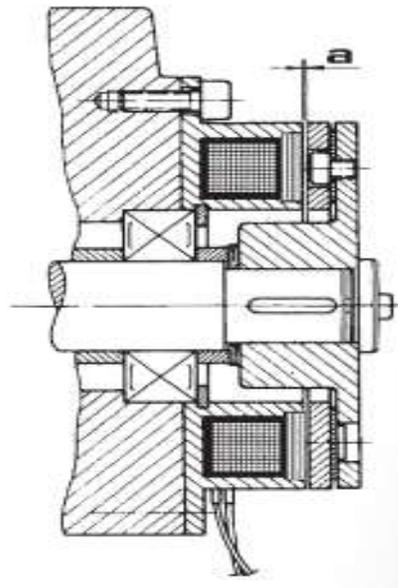


	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

En la Figura 4 se presenta la adaptación a eje que es utilizada para ser montado sobre el propio eje del mecanismo que deseamos ejercer la acción de frenado en cadena, también se utilizan en aplicaciones donde se requieren parar de manera inmediata el motor en caso de un corte o fallo de energía para sistemas que dependan de caída de cargas.

**Figura 4**

*Freno Magnético Adaptación a Eje (EIDE, 2022, p.1)*



**Frenos de Histéresis Magnética**

Estos frenos magnéticos y embragues magnéticos utilizan imanes permanentes (ver Figura 5), funcionan con campos de magnetización en uno de sus discos, generando un movimiento en una dirección y retornando a su origen generando un campo magnético opuesto, una de las características es que no requieren electricidad para su funcionamiento. El par en cada unidad se puede ajustar a cualquier valor entre el arrastre del rodamiento y el par máximo indicado (Mejicoro, 2022; p.1). En la figura 6 se muestra la parte interna del freno con sus elementos como los discos, rodamientos y el eje.

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

**Figura 5**

*Freno Magnético con Histéresis (Mejicoro, 2022, p.1).*



**Figura 6**

*Freno Magnético con Histéresis representación interna (Mejicoro, 2022, p.2).*



### **Frenos de Disco**

Este sistema de frenado consiste en un disco metálico que está instalado en el mecanismo de la rueda y gira a la par del eje. Tiene unas pinzas en ambos lados del disco e internamente tienen

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

pastillas que son las que hacen contacto con el disco, generando resistencia que se traduce en una reducción de la velocidad.

La eficacia de los frenos de disco se debe a que están completamente expuestos al ambiente y de esta forma reciben aire continuamente lo que se traduce en una mejor disipación del calor que se genera por la fricción. Esto hace que puedan ser sometidos a más cargas de trabajo y que tarden mucho más en fatigarse.

Los frenos de disco sólidos suelen estar en vehículos pequeños o en vehículos grandes pero combinados con frenos de disco ventilados que brinden un mejor rendimiento. Los de discos ventilados suelen estar en vehículos con una mayor carga de trabajo como son todo terrenos o deportivos, ver figura 7.(MITSUBISHI, 2021, p. 1.)

**Figura 7**

*Freno Disco Para Automóvil*(MITSUBISHI, 2021, p. 4).



**Frenos de Tambor**

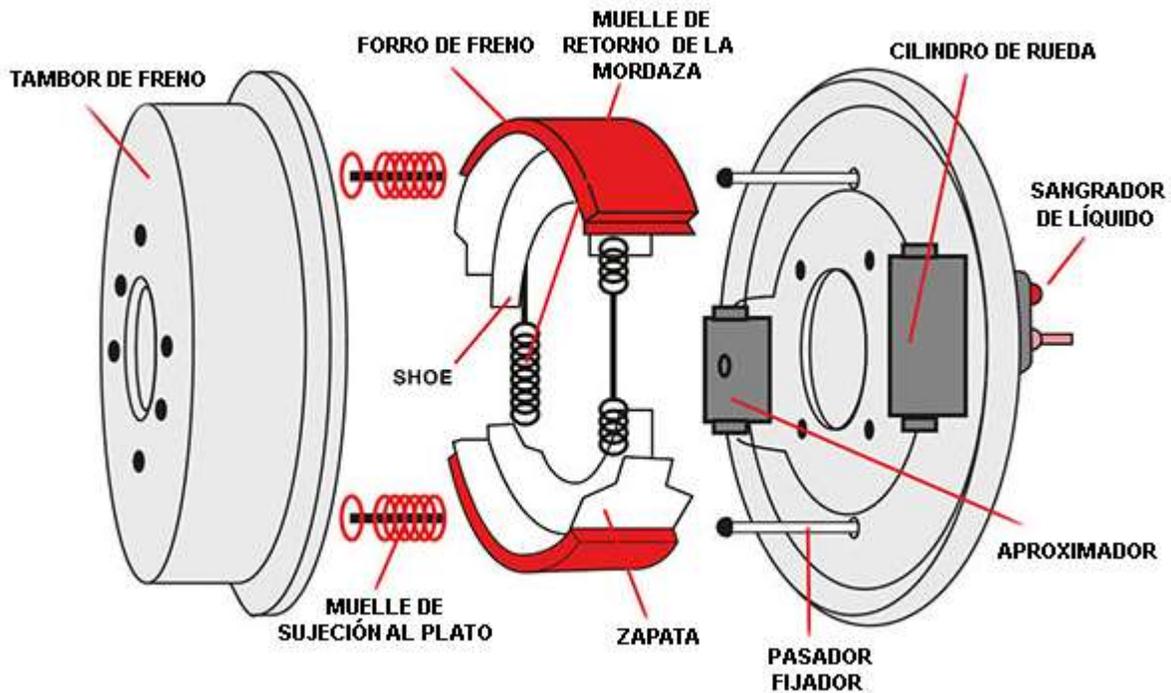
Los frenos de tambor están compuestos por una parte móvil, que es el tambor, donde se encuentra montado en un buje de la rueda por medio de unas tuercas, espárragos y un elemento fijo llamado plato, el cual tienen unos mecanismos de accionamiento para que puedan desplazarse las zapatas. Normalmente está fabricado en fundición, ya que es un material de bajo

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

costo y con un alto coeficiente de absorción de calor como se muestra en la figura 8. (Ferrer, 2021, p. 1)

**Figura 8**

*Freno de Tambor Para Automóvil*(Champions.partes.es, 2022, p.3).



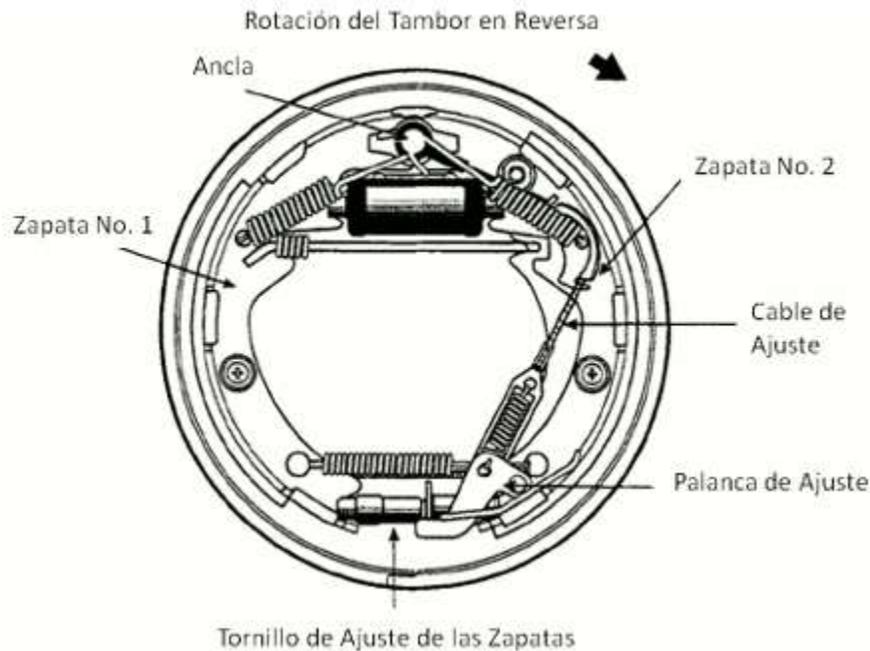
**Frenos de Tambor con Zapata Interna Larga**

Las zapatas de freno son piezas que actúan sobre el eje o contra la rueda, con el fin de moderar o hacer frenar el movimiento del vehículo mediante fricción. Se trata de elementos metálicos con forma curva, que están compuestos por un material de fricción fijado en su lateral. Estas piezas que componen el freno de tambor se emplean en el eje trasero como se muestra en la figura 9. Esto se debe a que la mayor parte de los vehículos frenan de forma brusca con sus ruedas delanteras. En el caso de la parte trasera, los frenos de tambor, al estar situados detrás, no manejan temperaturas tan elevadas. Las zapatas de freno se encargan de presionar la cara interna del tambor y así generar la fricción necesaria para poder detener el vehículo. Su funcionamiento es muy sencillo: como conductores, al pisar el pedal de freno, obligamos a que la zapata ejerza presión sobre el cilindro de la rueda, que sale hacia fuera, chocando contra la parte interna del tambor. Este choque termina generando una fricción y consigue que el vehículo se detenga. (FRENKIT S.L., 2020, p.1).

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

**Figura 9**

*Freno de Tambor de vehículo con Zapata larga interna*(E-auto.com.mx, 2022, p.4).



**Frenos de Tambor con Zapata corta Externa.**

Son aquellos frenos que aplican el material de fricción a la circunferencia de un cilindro de forma externa a diferencia donde el ángulo  $\theta$  como se muestra en la figura 10, subtendido por el arco de contacto entre la zapata y el tambor es pequeño ( $<45^\circ$ , aproximadamente), entonces se considera que la fuerza distribuida entre la zapata y el tambor es uniforme, por lo que se puede reemplazar por una fuerza concentrada  $F_n$  en el centro del área de contacto, como se observa en la figura 11, para cualquier presión máxima  $P_{m\acute{a}x}$  permisible del recubrimiento (tabla 1.), la fuerza  $F_n$  se estima como (Norton Robert L., 2006, p. 835).

$$F_n = P_{m\acute{a}x} r \theta w \tag{1.1}$$

donde  $w$  es el ancho de la zapata del freno en la dirección  $z$  y  $\theta$  es el ángulo subtendido en radianes. La fuerza de fricción  $F_f$  es:

$$F_f = \mu F_n \tag{1.2}$$

donde  $\mu$  es el coeficiente de fricción del material del recubrimiento de los frenos (tabla 1).

Entonces, el torque sobre el tambor del freno es

$$T = F_f r = \mu F_n r \tag{1.3}$$

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

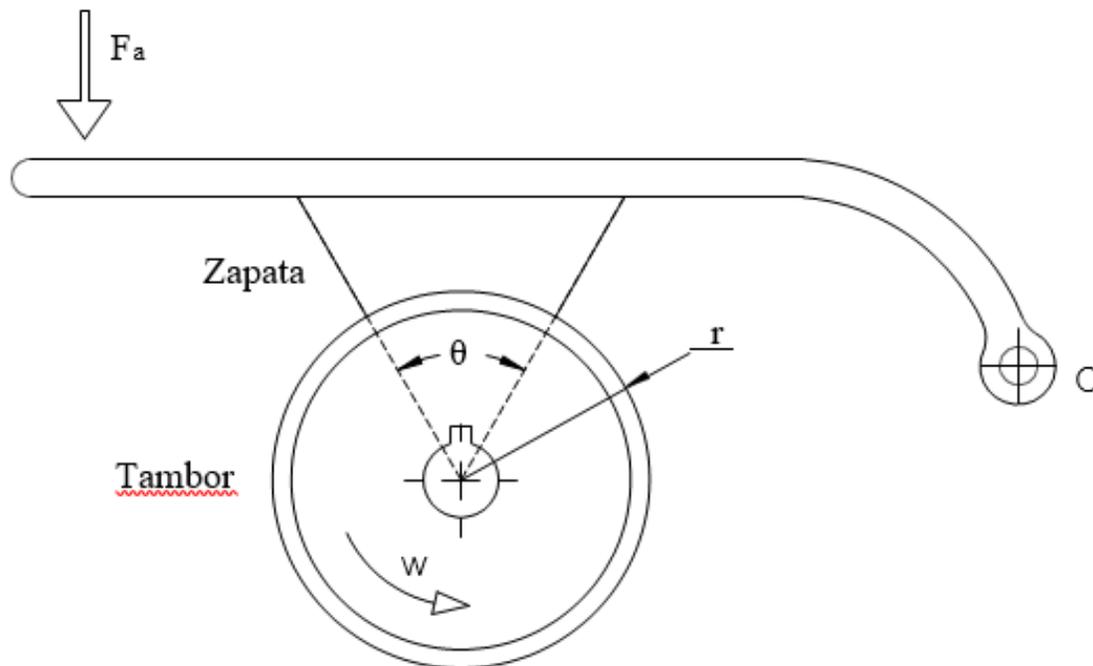
Sumando los momentos en relación con el punto O en el diagrama de cuerpo libre de la figura 11 y sustituyendo la ecuación (1.2)

$$\sum M = 0 = aF_a - bF_n + cF_f$$

$$F_a = \frac{bF_n - cF_f}{a} = \frac{bF_n - \mu cF_n}{a} = F_n \frac{b - \mu c}{a} \quad (1.4)$$

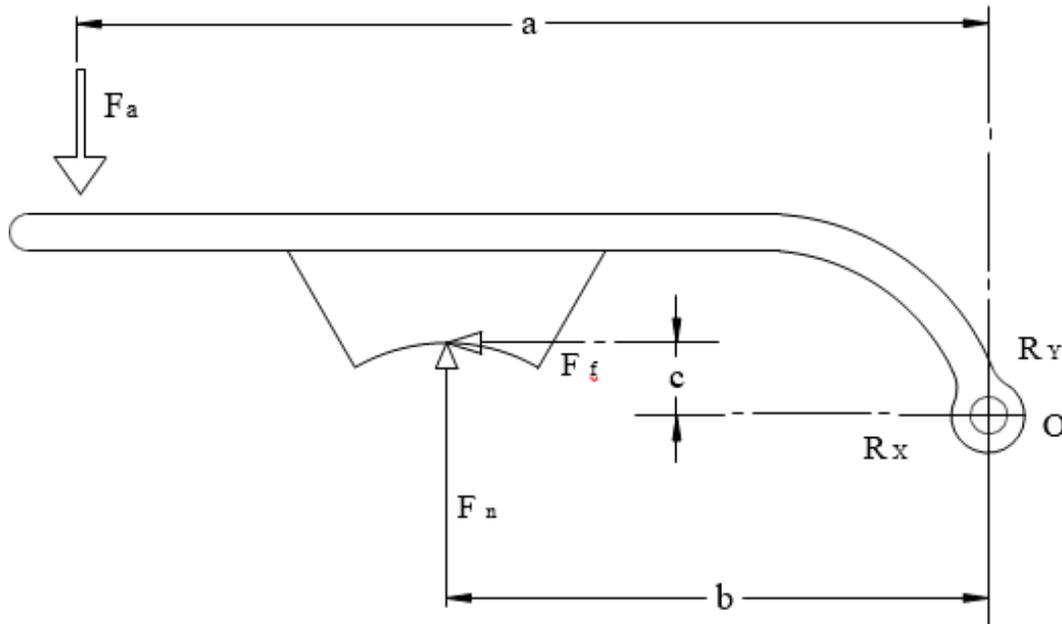
**Figura 10**

*Geometría y Fuerzas de un Freno de Tambor con Zapata Externa Corta. Montaje de Freno. Elaboración propia.*



**Figura 11**

*Geometría y Fuerzas de un Freno de Tambor con Zapata Externa Corta Diagrama de Cuerpo Libre. Elaboración propia.*



Las fuerzas de reacción en el pivote se calculan sumando las fuerzas.

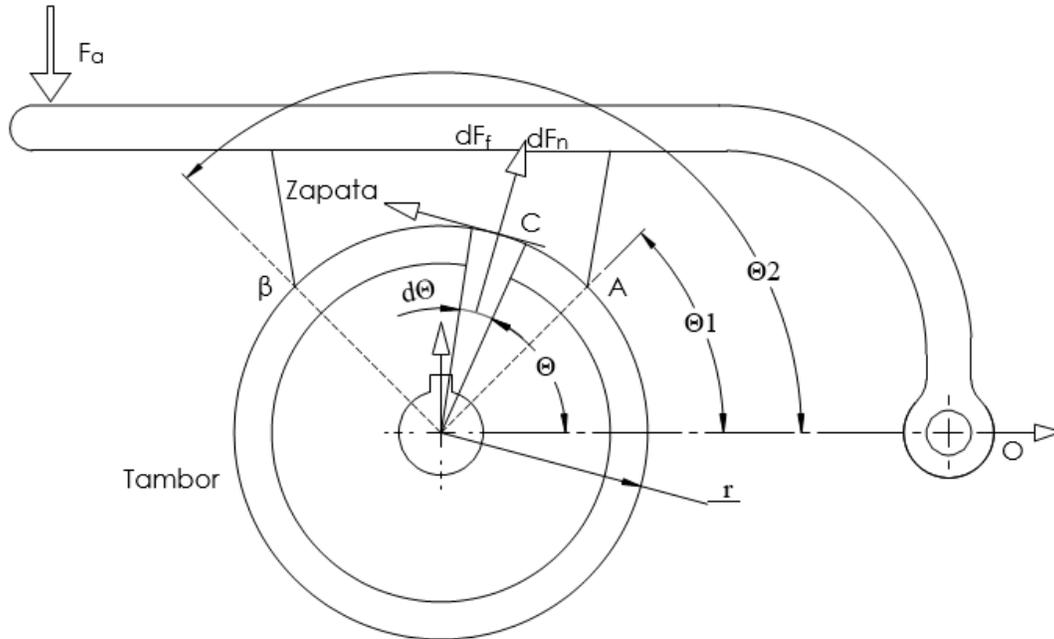
$$\begin{aligned}
 R_x &= -F_f \\
 R_y &= F_a - F_n
 \end{aligned}
 \tag{1.5}$$

#### **Frenos de Tambor Externos con Zapata Larga**

En la figura 12, muestra la geometría de los frenos de tambor de zapatas externas, constan de una o varias zapatas que actúan sobre la superficie lateral del tambor. Las zapatas suelen ir montadas sobre placas articuladas en uno de sus extremos. En el otro extremo se aplica una fuerza de frenado, creando una palanca y ejerciendo un par de frenado sobre el tambor. Las zapatas pueden estar montadas de forma rígida o articulada sobre la palanca. Este tipo de frenos tiene aplicaciones industriales más que automovilísticas (Coello Triay Ignasi, 2018, p.26).

**Figura 12**

*Geometría y fuerzas en un Freno de Tambor Externo con Zapata Larga. Montaje Freno Zapata Larga. Elaboración propia.*

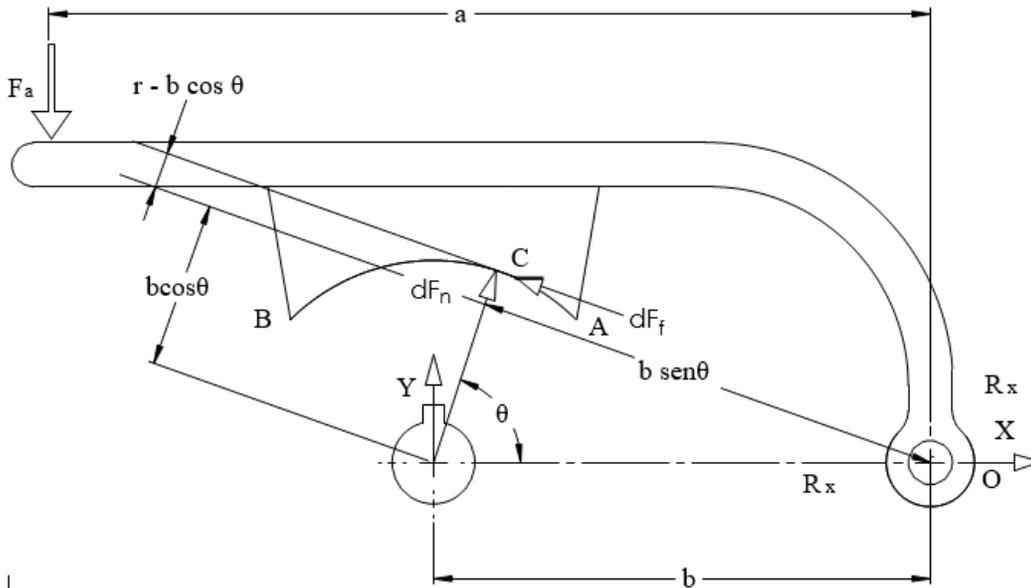


Advierta en la figura 12, que con la dirección mostrada del giro del tambor, el momento de fricción  $cF_f$  se suma al momento aplicado  $aF_a$ .

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

**Figura 13**

*Geometría y Fuerzas en un Freno de Tambor Externo con Zapata Larga. Diagrama Cuerpo Libre Zapata Larga. Elaboración propia.*



Entonces, en cualquier punto arbitrario sobre la zapata, como el C de la figura 13, la presión normal  $p$  es proporcional a su distancia del punto O.

$$p \propto b \operatorname{sen} \theta \propto \operatorname{sen} \theta \quad (1.6)$$

Como la distancia  $b$  es constante, la presión normal en cualquier punto es justamente proporcional al  $\operatorname{sen} \theta$ . Si se denota por  $K$  la constante de proporcionalidad

$$p = K \operatorname{sen} \theta \quad (1.7)$$

Si la presión máxima permisible para el material del recubrimiento es  $p_{\max}$  (tabla 1.), la constante  $K$  se define como

$$K = \frac{p}{\operatorname{sen} \theta} = \frac{P_{\max}}{\operatorname{Sen} \theta_{\max}} \quad (1.8)$$

Donde  $\theta_{\max}$  es más pequeña  $\theta_2$  y que  $90^\circ$ . Así,

$$K = \frac{p}{\operatorname{sen} \theta} = \frac{P_{\max}}{\operatorname{Sen} \theta_{\max}} \quad (1.9)$$

La ecuación 1.8 define la presión normal en cualquier punto sobre la zapata y varía conforme lo hace  $\operatorname{sen} \theta$ , ya que  $P_{\max}$  y  $\theta_2$  son constantes para cualquier freno específico.

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Por lo tanto, la fuerza de fricción es pequeña con  $\theta$  pequeña, es óptima en  $\theta = 90^\circ$  y disminuye en ángulos mayores de  $90^\circ$ . Se gana poco utilizando  $\theta_1 < 10^\circ$  o bien,  $\theta_2 > 120^\circ$ .

Para obtener la fuerza total en la zapata, la función de la presión se debe integrar para el rango angular de la zapata. Considere el elemento diferencial  $d\theta$  de la Figura 13. Sobre él actúan dos fuerzas diferenciales,  $dF_n$  y  $dF_f$ . Éstas tienen sus respectivos brazos de momento, con respecto al punto O iguales a  $b \text{ sen } \theta$  y  $r - b \text{ cos } \theta$  y  $r - b \text{ cos } \theta$ , como se indica en la Figura 13. Integrando para obtener sus momentos con respecto a O para la superficie total, para el momento debido a la fuerza normal, da como resultado:

$$\begin{aligned}
 M_{F_n} &= \int_{\theta_1}^{\theta_2} pwr \, d\theta \, b \text{ sen } \theta = \int_{\theta_1}^{\theta_2} wrb \, p \, \text{sen } \theta \, d\theta \\
 &= \int_{\theta_1}^{\theta_2} wrb \frac{P_{\text{máx}}}{\text{sen } \theta_{\text{máx}}} \text{sen}^2 \theta \, d\theta \\
 M_{F_n} &= wrb \frac{P_{\text{máx}}}{\text{sen } \theta_{\text{máx}}} \left[ \frac{1}{2} (\theta_2 - \theta_1) - \frac{1}{4} (\text{sen } \theta_2 - \text{sen } \theta_1) \right] \quad (1.10)
 \end{aligned}$$

Donde  $w$  es el ancho del tambor en la dirección  $z$  y las otras variables son como las definidas en la figura 13. Para el momento debido a la fuerza de fricción:

$$\begin{aligned}
 M_{F_f} &= \int_{\theta_1}^{\theta_2} \mu pwr \, d\theta \, (r - b \text{ cos } \theta) \\
 &= \int_{\theta_1}^{\theta_2} \mu wr \frac{P_{\text{máx}}}{\text{sen } \theta_{\text{máx}}} \text{sen } \theta \, (r - b \text{ cos } \theta) \, d\theta \\
 M_{F_f} &= \mu wr \frac{P_{\text{máx}}}{\text{sen } \theta_{\text{máx}}} \left[ -r (\text{cos } \theta_2 - \text{cos } \theta_1) - \frac{b}{2} (\text{sen}^2 \theta_2 - \text{sen}^2 \theta_1) \right] \quad (1.11)
 \end{aligned}$$

Sumando los momentos en relación con el punto O,

$$F_a = \frac{M_{F_n} \mp M_{F_f}}{a} \quad (1.12)$$

donde el signo de arriba es para un freno autoenergizante y el de abajo para un freno auto desenergizante. El auto bloqueo únicamente ocurre si el freno es autoenergizante y  $M_{F_f} > M_{F_n}$ .

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

El torque para el freno se calcula integrando la expresión del producto de la fuerza de fricción  $F_f$  por el radio del tambor  $r$

$$\begin{aligned}
 T &= \int_{\theta_1}^{\theta_2} \mu p w r \, d\theta \, r \\
 &= \int_{\theta_1}^{\theta_2} \mu w r^2 \frac{P_{\text{máx}}}{\text{sen}\theta_{\text{máx}}} \text{sen}\theta \, d\theta \\
 T &= \mu w r^2 \frac{P_{\text{máx}}}{\text{sen}\theta_{\text{máx}}} (\cos\theta_1 - \cos\theta_2) \tag{1.13}
 \end{aligned}$$

Las fuerzas de reacción  $R_x$  y  $R_y$  se determinan sumando las fuerzas en las direcciones  $x$  y  $y$  (véase la siguiente figura 13):

$$\begin{aligned}
 R_x &= \int \cos \theta \, dF_n + \int \text{sen} \theta \, dF_f \\
 &= \int_{\theta_1}^{\theta_2} w r p \cos \theta \, d\theta + \mu \int_{\theta_1}^{\theta_2} w r p \text{sen} \theta \, d\theta \\
 &= \int_{\theta_1}^{\theta_2} w r \frac{P_{\text{máx}}}{\text{sen}\theta_{\text{máx}}} \text{sen} \theta \cos \theta \, d\theta + \mu \int_{\theta_1}^{\theta_2} w r \frac{P_{\text{máx}}}{\text{sen}\theta_{\text{máx}}} \text{sen}^2 \theta \, d\theta \\
 R_x &= w r \frac{P_{\text{máx}}}{\text{sen}\theta_{\text{máx}}} \left[ - \left( \frac{\text{sen}^2 \theta_2}{2} - \frac{\text{sen}^2 \theta_1}{2} \right) \right. \\
 &\quad \left. + \mu \left[ \frac{1}{2} (\theta_2 - \theta_1) - \frac{1}{4} (\text{sen} 2\theta_2 - \text{sen} 2\theta_1) \right] \right] \tag{1.14} \\
 R_y &= \int \cos \theta \, dF_f + \int \text{sen} \theta \, dF_n - F_a \\
 &= \int_{\theta_1}^{\theta_2} \mu w r \frac{P_{\text{máx}}}{\text{sen}\theta_{\text{máx}}} \text{sen} \theta \cos \theta \, d\theta + \int_{\theta_1}^{\theta_2} \mu w r \frac{P_{\text{máx}}}{\text{sen}\theta_{\text{máx}}} \text{sen}^2 \theta \, d\theta - F_a
 \end{aligned}$$

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

$$R_y = wr \frac{P_{\max}}{\sin\theta_{\max}} \left[ -\mu \left( \frac{\sin^2\theta_2}{2} - \frac{\sin^2\theta_1}{2} + \left[ \frac{1}{2}(\theta_2 - \theta_1) - \frac{1}{4}(\sin 2\theta_2 - \sin 2\theta_1) \right] \right) \right] - F_a \quad (1.15)$$

De lo anterior, los frenos de tambor suelen tener dos zapatas, una de las cuales se puede hacer autoenergizante en cada dirección o ambas en una dirección. Esta última configuración se utiliza comúnmente en frenos de automóviles para ayudar a detener el movimiento hacia delante, a expensas de la detención del movimiento hacia atrás, que por lo general es de baja velocidad.

Adicionalmente, los materiales de los componentes juegan un papel importante dentro de las características de los frenos, por tal motivo se presenta la definición de materiales, ventajas y desventajas.

### **Materiales para Frenos**

Los materiales usados en la fabricación de los frenos caen dos clasificaciones generales, los usados para los tambores y los más usados para los revestimientos. Generalmente los tambores son de hierro vaciado con algunos materiales de aleación agregados. Los materiales más costosos como el acero inoxidable, aluminio, monel, etc., se utilizan cuando la conducción de calor es un factor importante. Por otra parte, los revestimientos para los frenos por lo común se hacen de asbestos y aglomerantes. Muchos revestimientos en asbestos son modeladores, aunque hay algunas aplicaciones especiales de revestimientos tejidos. Los revestimientos de este tipo normalmente se utilizan cuando la temperatura exceda a 400°F. Para frenos en los que se espera tener una temperatura entre 400°F a 750°F se utilizan revestimientos de metal sinterizado. Si los límites de temperatura están entre 750°F a 1000°F se usan revestimiento de metal sinterizado al cual se le agregan partículas de cerámica, de hecho, si el contenido de cerámica es alto, pueden tolerarse temperaturas de operación hasta 800°F.

Los revestimientos sinterizados como se muestra en la figura 15 tienen la ventaja de tener alta conductividad térmica, larga vida y características de fricción muy estable. Las desventajas es que son relativamente caros, tienen un bajo coeficiente de fricción y deben fabricarse perfilados debido a su rigidez.

La mayor parte de los revestimientos son fijados a los tambores ya sean con remaches o pegados. Aunque con el remachado se tiene una ventaja del bajo costo y su instalación es relativamente fácil y sencilla, tienen la desventaja del que el espesor del revestimiento depende de la altura de la cabeza embutida del remache. Los revestimientos pegados proporcionan mayor área de fricción y mayor espesor efectivo, pero son más caros y requieren un equipo más elaborado y control más cuidadoso cuando hay necesidad de reemplazarlos (Deutschman et al., 1987, p.737)

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

### Figura 14

*Juego de pastas para freno de disco con metal sinterizado con partículas de cerámica(Tuningblog.eu, 2021, p.2)*



### Material para Revestimiento

Las pastillas de freno orgánicas están hechas de fibras modificadas, fibras vegetales, vidrio, carbono, kevlar o en Goma, estas resinas naturales o artificiales se utilizan como relleno. Las coberturas orgánicas se agotan rápidamente, pero se consideran más silenciosas y se utilizan en tipo pastilla en los discos de freno. Este tipo de almohadillas como se muestra en la figura 15, se utilizan para velocidad tipo crucero y no es adecuado para su uso en una pista de carreras. La razón es que las pastillas de freno orgánicas tienen un fuerte efecto a altas temperaturas, pero un bajo coeficiente de fricción y temperatura. Por tanto, la correcta composición del material es fundamental a la hora de elegir un revestimiento y no hay diferencia, ya sean utilizadas en frenos de disco o de tambor, dependiendo del uso previsto, existen numerosas ventajas y desventajas a la hora de utilizarlas en diferentes variables físicas asociada al clima, tipo de carga y velocidad(Tuningblog.eu, 2021, p.3).

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

**Figura 15**

*Pasta para freno de disco con material orgánico como caucho y fibra*(Tuningblog.eu, 2021, p.3)



Tomando como referencia el documento caracterización de materiales alternativos para frenos de fricción, en el aparte procedimiento experimental (Araque de los Ríos, 2012, p.26) se realizaron con motores eléctricos pruebas con el banco de frenado a velocidades similares a los motores eléctricos de 1 Cv del Instituto Tecnológico Metropolitano ITM.

Estos materiales fueron sometidos a una serie de pruebas a velocidades de 800 rpm, 1200 rpm y 1800 rpm y variaciones en la magnitud de carga entre 100 g y 1000 g con el fin de determinar las características asociadas al coeficiente de fricción dinámico, la máxima presión de trabajo, evolución de la curva de temperatura y desgaste superficial, los cuales fueron desarrollados utilizando un modelo estadístico de fracciones factoriales parciales, y analizando las curvas obtenidas a partir de la desviación estándar, coeficiente de variación y promedio del coeficiente de fricción. La evaluación del desgaste superficial se valoró utilizando un microscopio óptico a 200 aumentos y se realizan comparaciones de los diversos materiales antes y después de su uso. Finalmente, las conclusiones recogen cuadros significativos del comportamiento de estos materiales en los regímenes de carga y velocidad de aplicación ensayados. (Araque de los Ríos, 2012, p.26).

Para obtener una caracterización de materiales utilizados en el desarrollo experimental se utilizó el dispositivo mostrado en la figura 16. Este sistema está montado sobre una cimentación adaptada para absorber las vibraciones producidas debido a la rotación de un motor de 4 hp. El equipo permite, por medio de la utilización de un variador de frecuencia Tek-Drive serie TDS-V8, cambiar la velocidad de rotación y variarla en el tiempo; por medio de la utilización de un sistema

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

de soportes, es posible colocar los pesos que accionan el mecanismo de frenado colgándolos en su extremo libre. Por un lado, el par del motor tiende a hacer girar el sistema en su sentido de giro, pero, por otro lado, el par que introducen los pesos aplicados por la palanca tienden a frenar el sistema. Esta fuerza de accionamiento es medida en el extremo del motor utilizando un dinamómetro.

Las mediciones experimentales se realizaron para cada uno de los materiales objeto del estudio: caucho, madera de Nogal, asbesto, cuero, fundición y corcho; con una variación de la velocidad angular de entrada al eje del motor de 1800, 1200 y 800 rpm. Además, para cada uno de estos rangos de velocidad se incrementó gradualmente el peso en el extremo de accionamiento del dispositivo de frenado en 100, 200, 300 hasta llegar a 1000 g con una permanencia de tiempo en exposición de carga de 10, 20 y 30 segundos. Adicionalmente, se midió el incremento de temperatura presentado durante cada prueba realizada, utilizando un pirómetro de radiación(Araque de los Ríos, 2012, p.27).

**Figura 16**

*Dispositivo de freno utilizado(Araque de los Ríos, 2012, p.27).*



Como referente la tabla 2 donde se realizaron las pruebas de materiales naturales que indica las relaciones de velocidad objeto de estudio y el rango de valores en los que se encuentra el coeficiente de fricción en seco.

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

**Tabla 2**

*Coefficiente de Fricción en Seco  $\mu$* (Araque de los Ríos, 2012, p 29).

Material	Velocidad 1800 RPM	Velocidad 1200 RPM	Velocidad 800 RPM
<b>Asbesto</b>	0,22 – 0,42	0,10 – 0,24	0,22 – 0,52
<b>Corcho</b>	0,46 – 0,73	0,42 – 0,65	0,44 – 0,73
<b>Cuero</b>	0,33 – 0,36	0,30 – 0,36	0,24 – 0,55
<b>Madera Nogal</b>	0,38 – 0,52	0,32 – 0,42	0,37 – 0,63
<b>Fundición</b>	0,14 – 0,44	0,14 – 0,42	0,10 – 0,30

*Nota.* Rango coeficiente de fricción en seco

### **Materiales Estructurales para Frenos**

Las aleaciones ferrosas, que se basan en aleaciones de hierro y carbono, incluyen aceros al bajo carbono, aleaciones y aceros para herramienta, aceros inoxidables y hierros colados. Estos son los materiales de más amplio uso en el mundo. Por lo general, los aceros se producen de dos formas: refinando mineral de hierro o reciclado chatarra de acero(Donald et al., 2012, p.493).

### **Acero al Carbón 1040 (AISI 1040)**

EL AISI (American Iron and Steel Institute) proporciona el sistema de designación que usan un número de cuatro o cinco dígitos. Los primeros dos números se refieren a los principales elementos de aleación presentes, y los últimos dos o tres números se refieren al porcentaje de carbono. Un acero AISI 1040 es un acero al bajo carbón con 0.40% de Carbono(Donald et al., 2012, p.494). En la tabla 3 se muestran los valores relacionados a la dureza del acero a pruebas de resistencia.

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

**Tabla 3**

*Propiedades Mecánicas Acero 1045(Especiales, 2019, p.2).*

	Resistencia tensión (Kg/cm <sup>2</sup> )	Punto de Cedencia (Kg/cm <sup>2</sup> )	% Elongación en 50.8 mm.	% Reducción de área	Dureza Brinell
Estirado en frío 1"Φ	7700	5500	19	32	220
Recocido (790°C)1"Φ	5600	3375	30	54	160
Normalizado (900°C)					
1" Φ	6100	3815	28	52	190
2" Φ	6000	3750	28	52	170
4"Φ	5900	3500	27	50	170
Templado (840°C) Y					
Revenido (590°C)					
1" Φ	7670	5330	24	63	210
2" Φ	7300	5210	26	66	195
4"Φ	7225	4536	27	67	190

*Nota.* La ASTM es la Sociedad Estadounidense de Pruebas y Materiales, el AISI es el Instituto Estadounidense del Hierro y el Acero, y la SAE es la Sociedad de Ingenieros Automotrices. Tanto el AISI como la SAE usan las mismas denominaciones para los aceros.(Especiales, 2019, p. 2)

#### **Definición de Potencia.**

Potencia es la capacidad de realizar trabajo. Está dada por la ecuación

$$P = \frac{W}{t} \quad (1.16)$$

donde

P = potencia [W]

W = trabajo realizado [J]

t = tiempo en que se realiza el trabajo [s]

La unidad de potencia es el watt (W). A menudo se utiliza el kilowatt (kW), que es igual a 1000 W. En ocasiones, el rendimiento o eficiencia de potencia de los motores se expresa en unidades de caballo de fuerza (hp). Un caballo de Vapor es igual a 736 W. Corresponde al rendimiento de potencia promedio de un caballo de tiro (Theodore, 2017, p.52).

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

### Potencia de un motor

El rendimiento o eficiencia de la potencia mecánica de un motor depende de su velocidad de rotación y del momento de torsión o par que desarrolla. La potencia está dada por

$$P = \frac{nT}{9,55} \quad (1.17)$$

donde

P = potencia mecánica [W]

T = momento de torsión o par [N.m]

n = velocidad de rotación [r/min]

9,55 = una constante para el ajuste de las unidades (valor exacto =  $\frac{30}{\pi}$ ) (Theodore, 2017, p.52).

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

### 3. METODOLOGÍA

Para dar inicio al proyecto fue necesario el levantamiento de información, de ahí se tuvo que realizar el desplazamiento al laboratorio de máquinas eléctricas del Instituto Tecnológico Metropolitano ITM, con el fin de tomar las dimensionales de los motores de un 1Cv utilizando un instrumento de medición como el Nonio o Vernier, se tomaron las medidas, se realizó un registro fotográfico para la placa de información del motor, caja de conexiones eléctricas y partes adicionales del motor para realizar el diseño a escala.

Posteriormente, se realizó la etapa investigativa acerca de los conceptos teóricos de los frenos mecánicos para motores eléctricos, donde se abordaron los frenos mecánicos para vehículos de combustión interna y se revisaron algunas bases científicas de trabajos realizados acerca de frenos para motores eléctricos de diferentes instituciones educativas y sus fabricantes, así mismo como textos técnicos acerca de la física de los frenos. De ahí, que inicialmente se estudió la posibilidad de abordar para el diseño conceptos de física, acerca de los frenos mecánicos aplicados en la industria automotriz.

De acuerdo a la información anterior se evaluó la pertinencia de cada uno de los frenos sobre el motor de un 1Cv, pasando por los conceptos de los diferentes tipos de frenos, como los frenos de tambor desde lo mecánico, los frenos magnéticos desde el ámbito eléctrico, los frenos de histéresis magnética que se inducen sin electricidad pero se requieren ser instalados en una área considerable en el eje o en la brida para magnetizar una de sus superficies y por último con más posibilidades de desarrollar el diseño desde el ámbito mecánico y se optó plantear el diseño de los frenos de zapata externa por su mecanismo de fricción y fácil adaptabilidad entre el acople mecánico y la brida.

Para iniciar el diseño con las medidas tomadas y los registros fotográficos, se implementó un modelo del motor en el software CAD a escala, donde era fundamental tener en cuenta los espacios disponibles para la implementación del freno. En la segunda etapa, se realizaron cálculos de potencia mecánica del motor para determinar la opción más acertada basándose a la información de placa y los conceptos teóricos, adicionalmente los materiales de fricción también tuvieron que ser analizados a profundidad de acuerdo con la similitud a la potencia y velocidad, con el material del eje del motor y materiales que a la hora de utilizarlos no sean nocivos para la salud y el medio ambiente. Por último, se realizaron los correspondientes cálculos para el diseño de frenos de zapara externa que se adapten a las características mecánicas y eléctricas del motor.

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

## 4. RESULTADO Y DISCUSIÓN

---

Se planteó el modelo de freno de tambor externo con zapata larga como diseño de freno mecánico para ser ubicado en el espacio disponible entre la brida y el acople, de esta manera sin intervenir de manera directa con alguna parte eléctrica del motor, se realizó el modelo tomando el concepto teórico y matemático de los frenos de zapata externa y estudios referentes a materiales de fricción con el objetivo de trabajar con materiales que no sean nocivos para la salud de la personas que lo manipulen y evitando de una manera pronta el desgaste del eje.

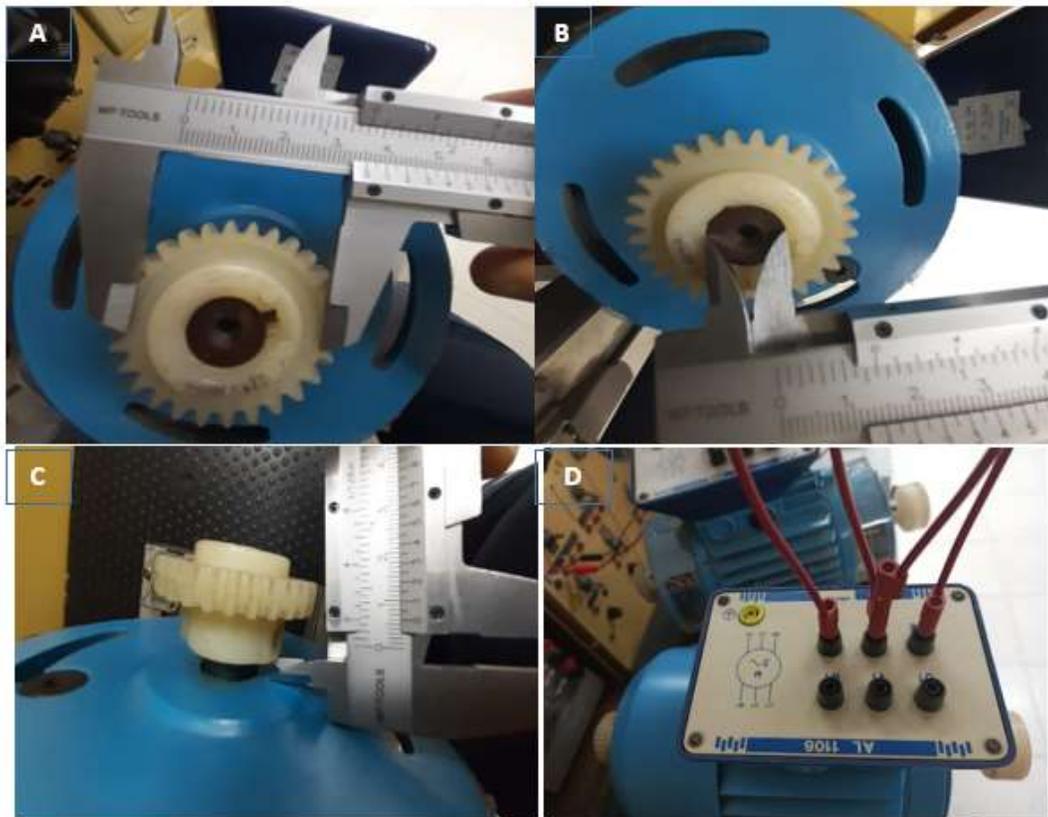
Se tomó como base un ensayo del laboratorio realizado por la universidad de Pereira referente a los materiales de fricción y con las pruebas que contenían las características similares de los motores del laboratorio del Instituto Tecnológico Metropolitano como son la potencia eléctrica y la velocidad nominal del motor según informe.

En la Figura 17 de la A a la C se tomaron las medidas necesarias para realizar el modelo a escala del motor de 1Cv, se argumentó la selección del tipo de freno mecánico y se tomó registro fotográfico de la información de placa ver figura 18. Se realizaron las memorias de cálculo a partir de la ecuación 1.18 a la 1.28 y el diseño a partir de la figura 19 a la 34.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

### Figura 17

A. Dimensiones Sistema de Acople, B. Diámetro del Eje, C. Espacio Entre Brida y Acople, D. Caja de Conexiones Eléctricas del Motor. (Registro fotográfico motor 1 Cv del laboratorio del Instituto Tecnológico Metropolitano).



En la Figura 17.D se evidenció que no es posible utilizar la caja de conexión eléctrica por el espacio ajustado que tiene y no permite implementar internamente algún tipo de solución de freno eléctrico para motor.

### Selección de Freno de Zapata Larga Externa

Para la adecuación y diseño del freno del motor se seleccionó el freno mecánico de zapata larga externa. Se inició con el marco teórico acerca de los frenos eléctricos para motores eléctricos, pero se descubrió que no eran posible por la restricción del espacio que hay entre la brida y el acople; preliminarmente se tomó como concepto el diseño del freno mecánico desde el campo automotriz con el freno de zapata y el tambor. Pero finalmente con las pruebas y el dispositivo de freno de la universidad de Pereira (Araque de los Ríos, 2012), se diseñó el modelo propuesto en este trabajo que justifica las diferentes pruebas con variedad de materiales de características naturales como son el corcho, la madera, el cuero, cuyas pruebas se hicieron de acuerdo a

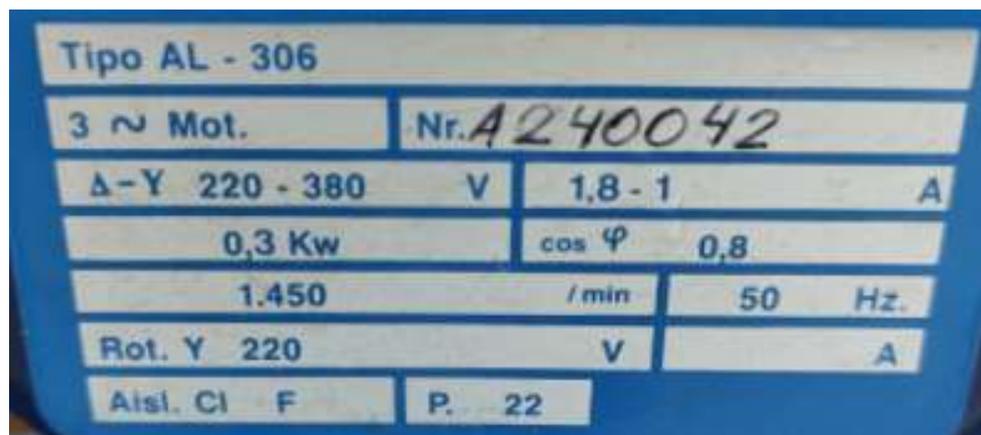
	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

velocidades y potencia similares a los motores del laboratorio del Instituto Tecnológico Metropolitano.

Complementando el diseño se realizaron los cálculos matemáticos con base al fuerza fricción de los cálculos de libro Norton en las aplicaciones de frenos de fricción de zapata larga externa (Norton Robert L., 2006) y se selección el material para la estructura del freno que soportara el material de fricción con base al texto diseño de máquinas- teoría y práctica (Deutschman et al., 1987)

### Figura 18

*Placa del Motor de 1Cv del Laboratorio Máquinas Eléctricas (Registro fotográfico motor 1 Cv del laboratorio del Instituto Tecnológico Metropolitano).*



Tipo de motor: asíncrono trifásico, jaula de ardilla.

Voltaje de operación: 220 Vac /440 Vac

Corriente: 1.8 amperios a 220 Vac /1 amperio a 380Vac

Potencia en kW: 0,3

1Cv = 736W = 0,736 kW

Potencia en Cv = 0.407 Cv

Velocidad: 1450 rpm

Frecuencia: 50Hz

Coseno φ: 0.8

Aislamiento clase F

Aplicando la ecuación 1.16 de potencia

$$N \cdot \frac{m}{seg} \times 8.7873 = in - lb/seg$$

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

$$T = \frac{P}{\omega} = \frac{0.407Cv(6600 \frac{in \cdot lb}{seg})}{1450 rpm (\frac{2\pi}{60} \frac{rad}{rpm})} = 17.68 lb - in \quad (1.18)$$

### Cálculos Matemáticos

Para la configuración del freno de tambor mostrada en la figura 14, se determina el torque de fricción T Y la fuerza aplicada Fa.

$$a = 34.02 \text{ mm}$$

$$b = 30 \text{ mm}$$

$$\text{Radio eje motor} = 7 \text{ mm,}$$

$$w = 1450 rpm \left( \frac{2\pi}{60} \frac{rad}{rpm} \right) = 151.84. \quad (1.19)$$

$$Q1 \text{ ángulo} = 50^\circ$$

$$Q2 \text{ ángulo} = 110^\circ$$

$$Q \text{ máx} = 90^\circ.$$

El coeficiente de fricción Material Corcho = 0.37 (ver ecuación 1.15)

Presión máxima del recubrimiento Pmáx = 1.5 MPa.

Desarrollo

- Convertimos los ángulos  $\theta_1$  y  $\theta_2$  a radianes:

$$\theta_1 = 50^\circ \text{ a radianes} = 50 \times \frac{\pi}{180} = 0.872 \text{ radianes} \quad (1.20)$$

$$\theta_2 = 120^\circ \text{ a radianes} = 110 \times \frac{\pi}{180} = 1.91 \text{ radianes} \quad (1.21)$$

$$\theta \text{ máx} = 90^\circ \text{ a radianes} = 90 \times \pi/180 = 1.57 \text{ radianes} \quad (1.22)$$

- Calculamos el momento  $M_{Fn}$  con respecto a 0 debido a la fuerza normal, mediante la ecuación 1.10 de la Figura 19

$$M_{Fn} = wrb \frac{P_{máx}}{\text{sen}\theta_{máx}} \left[ \frac{1}{2} (\theta_2 - \theta_1) - \frac{1}{4} (\text{sen}\theta_2 - \text{sen}\theta_1) \right] \quad (1.23)$$

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

$$= (151.8)(7)(30) \frac{1.5}{\text{sen}(1.57)} \left[ \frac{1}{2}(1.91 - 0.872) - \frac{1}{4}(\text{sen}[2(1.91)] - \text{sen}[2(0.872)]) \right] = 44,1 \text{Nm}$$

3. Determinamos el momento  $M_{Ff}$  con respecto a O debido a la fuerza de fricción, con la ecuación 1.11.

$$M_{Ff} = \mu wr \frac{P_{\text{máx}}}{\text{sen}\theta_{\text{máx}}} \left[ -r(\cos\theta_2 - \cos\theta_1) - \frac{b}{2}(\text{sen}^2\theta_2 - \text{sen}^2\theta_1) \right] \quad (1.24)$$

$$= (0.37)(151.84)(7) \frac{1.5}{\text{sen}(1.57)} \left[ -7(\cos(1.91) - \cos(0.872)) - \frac{90}{2}(\text{sen}^2[(1.91)] - \text{sen}^2[(0.872)]) \right] = 17.64 \text{ Nm}$$

4. Obtenemos la fuerza aplicada con la ecuación 1.12

$$F_a = \frac{M_{F_n} \mp M_{F_f}}{a} = \frac{44.1 - 17.64}{0.034} = 778 \text{ Nm} \quad (1.25)$$

5. Calcule el torque de fricción con la ecuación 1.13

$$T_f = \mu wr^2 \frac{P_{\text{máx}}}{\text{sen}\theta_{\text{máx}}} (\cos\theta_1 - \cos\theta_2) \quad (1.26)$$

$$T_f = 0.37(151,84)(7)^2 \frac{1.5}{\text{sen}(1.57)} (\cos(1.91) - \cos(0.872))$$

$$= 4030 \text{ N.m}$$

De acuerdo con la investigación se realizó una interpolación lineal para acercarnos al valor del coeficiente de fricción de la velocidad del motor del laboratorio del Instituto Tecnológico Metropolitano que es de 1450 rpm, se propone materiales, en este caso utilizaremos el corcho, por sus prestaciones de coeficiente de fricción alto, es el adecuado para la velocidad del motor ya que su disposición final no sea nociva para el medio ambiente.

$$Y_x = Y_0 + \frac{X - X_0}{X_1 - X_0} (Y_1 - Y_0)$$

Reemplazando el valor minino de la tabla

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

$$Y_x = 0.33 + \frac{1450 - 18000}{800 - 1800} (0.44 - 0.33) \quad (1.27)$$

$$Y_x = \mathbf{0.37}$$

Reemplazando los valores máximos de la tabla

$$Y_x = 0.73 + \frac{1450 - 18000}{800 - 1800} (0.73 - 0.73) \quad (1.28)$$

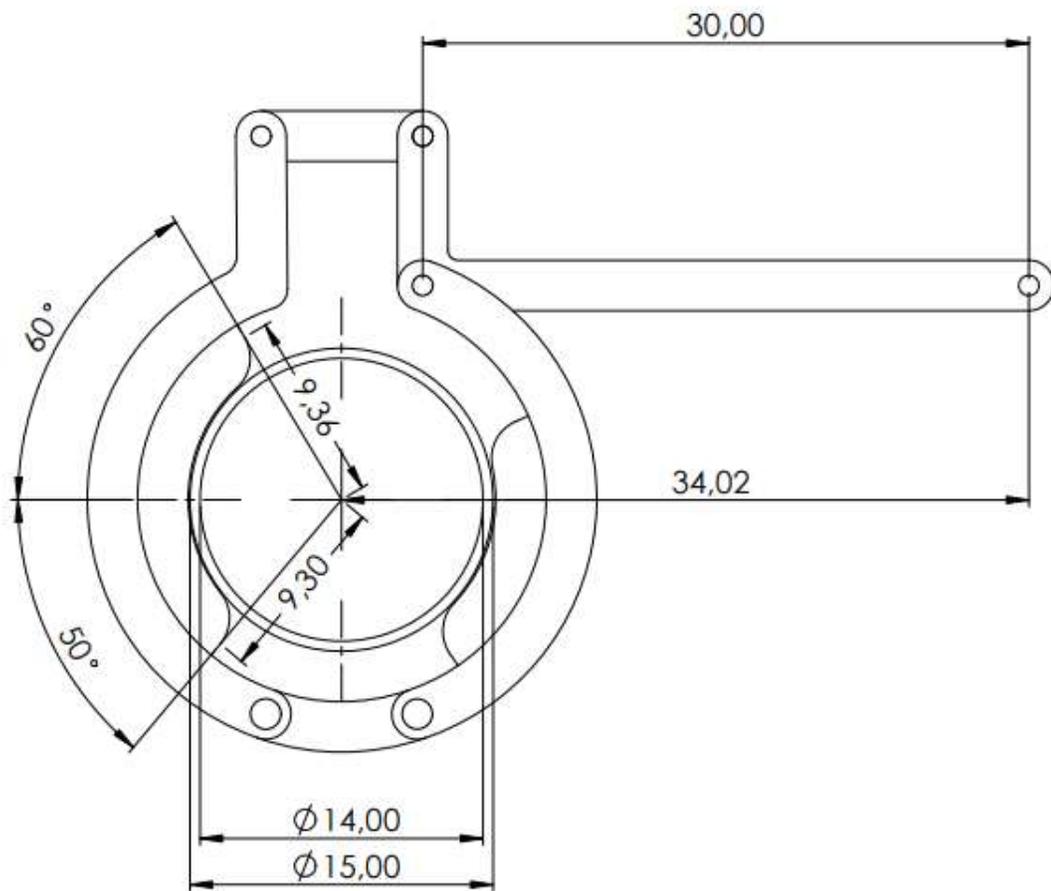
$$Y_x = \mathbf{0.73}$$

Se realizó el diseño desde el software SolidWorks, se presenta el modelo de acuerdo a los componentes del motor, de 1Cv a partir de las figuras 19 a la 34. Se muestra el modelo por despiece de los 5 componentes donde la banda izquierda ver figura 26 y 27 y la banda derecha ver figura 28 y 29 soportaran el material de recambio que es el corcho como elemento de contacto de fricción con el eje del motor.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

**Figura 19**

*Presentación modelo y sus dimensiones propuesto para la implementación del freno mecánico.  
 Elaboración propia*

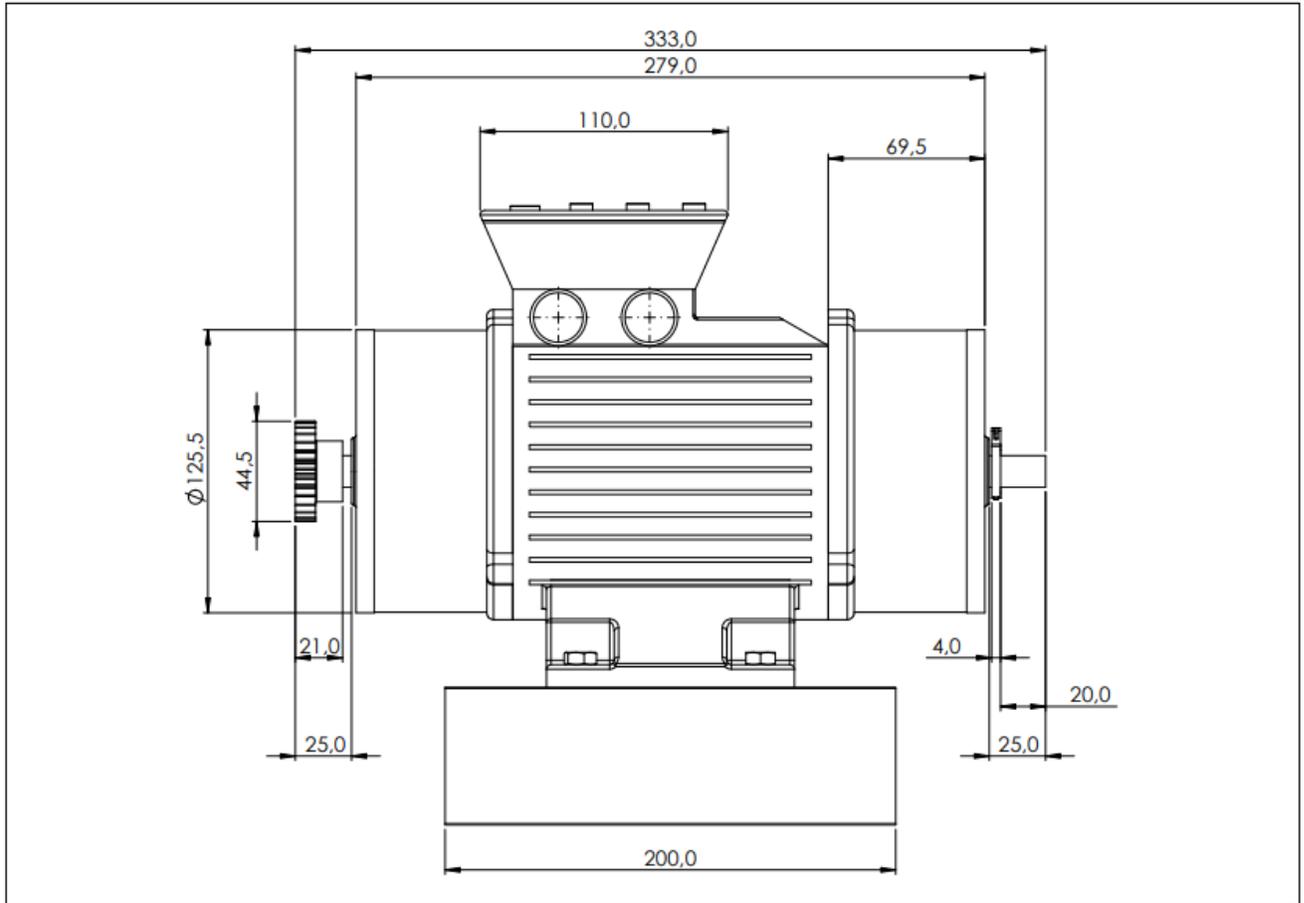




	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

**Figura 21**

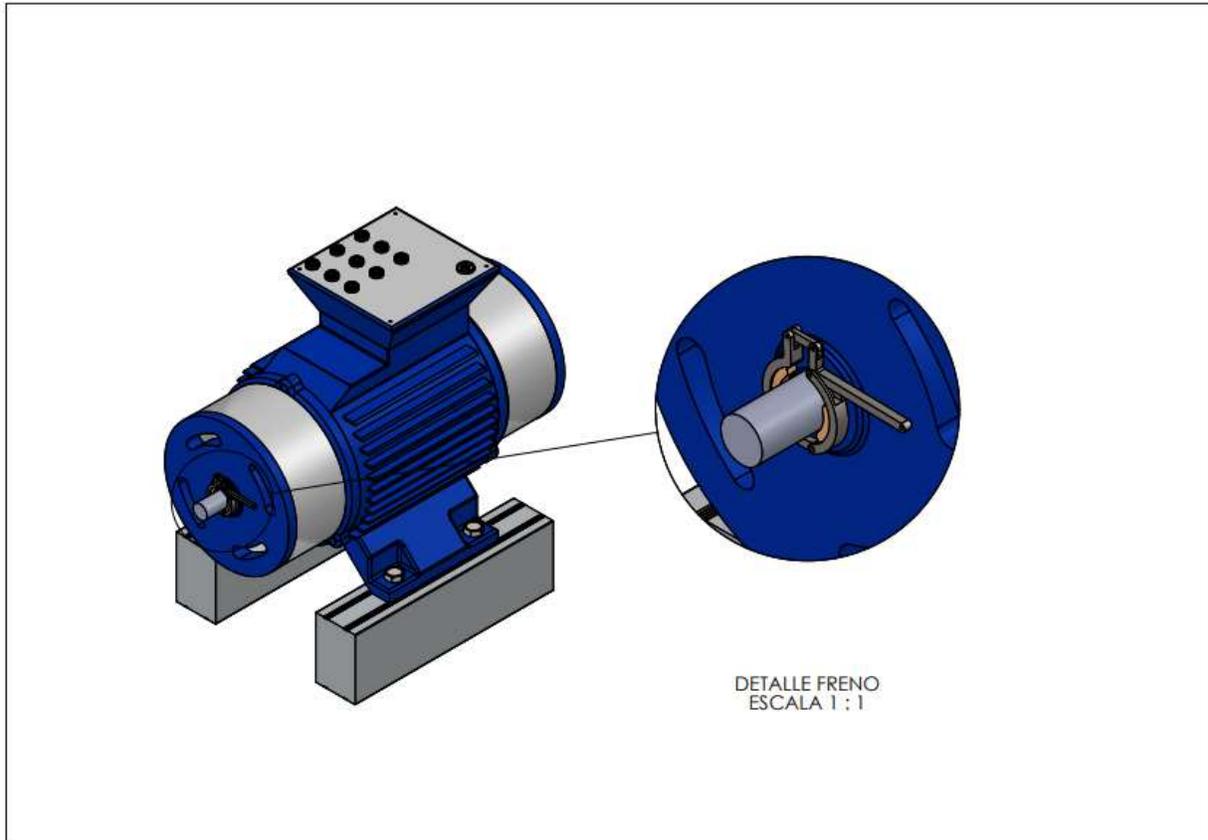
*Dimensiones Carcaza Motor. Elaboración Propia*



	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

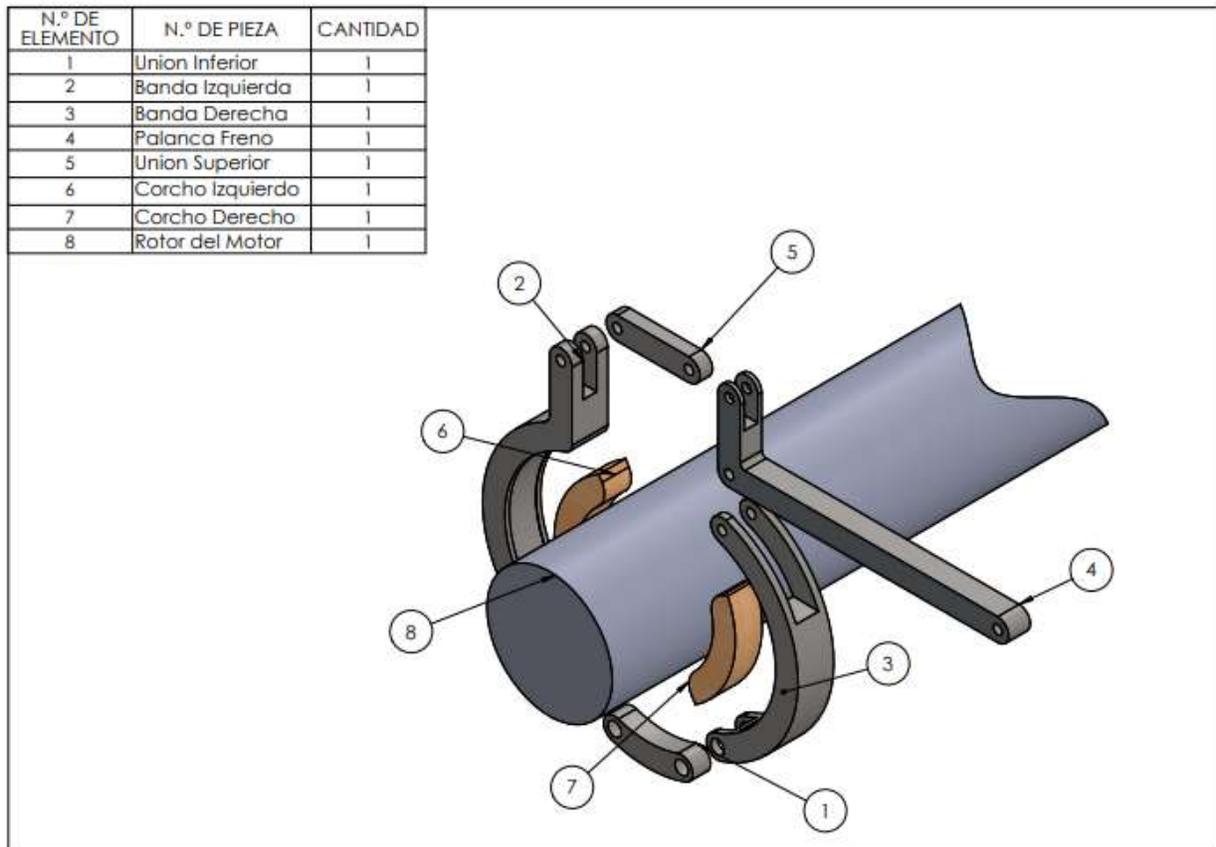
**Figura 22**

*Modelo Presentación General del Motor Elaborado en SolidWorks. Elaboración Propia.*



**Figura 23**

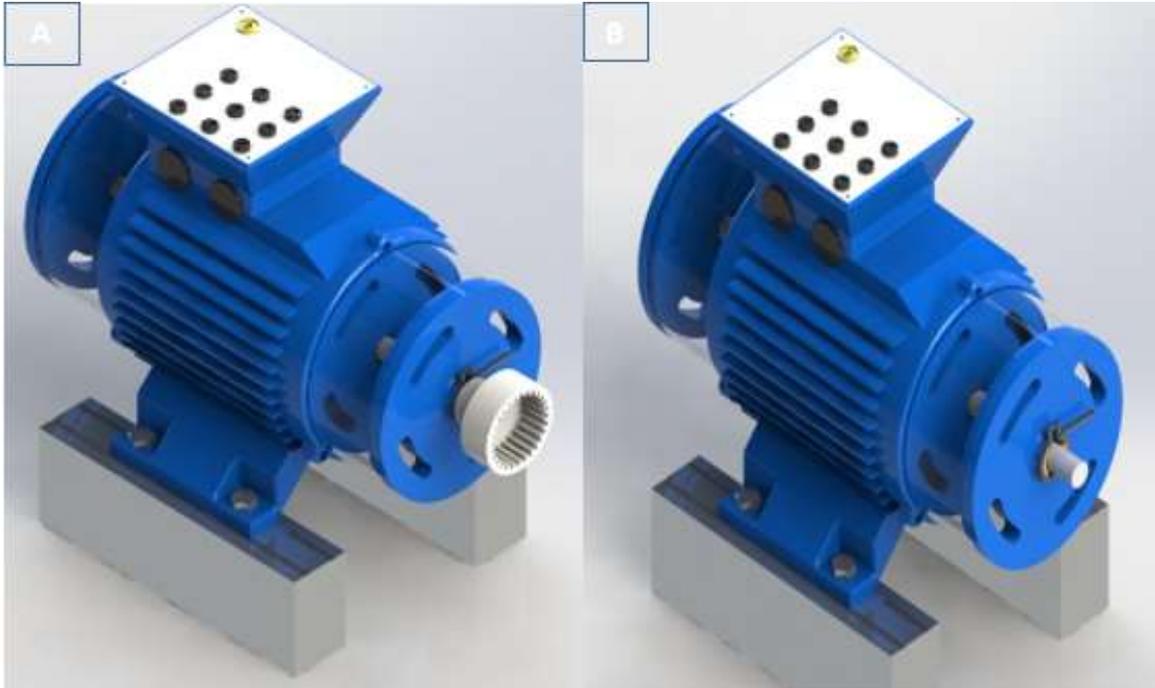
*Elaboración del Diseño Freno Mecánico del Motor y sus componentes. Elaboración Propia*



	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

**Figura 24**

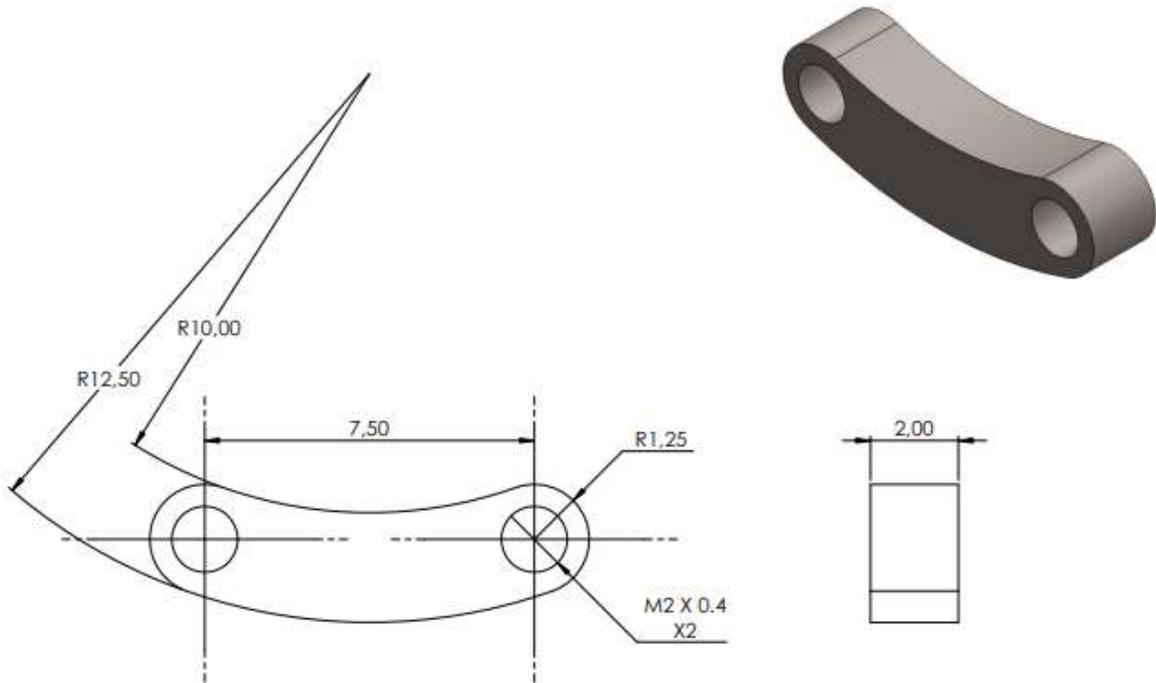
*A. Modelo del Motor con Acople. B. Modelo del Motor sin Acople. Elaboración Propia*



	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

**Figura 25**

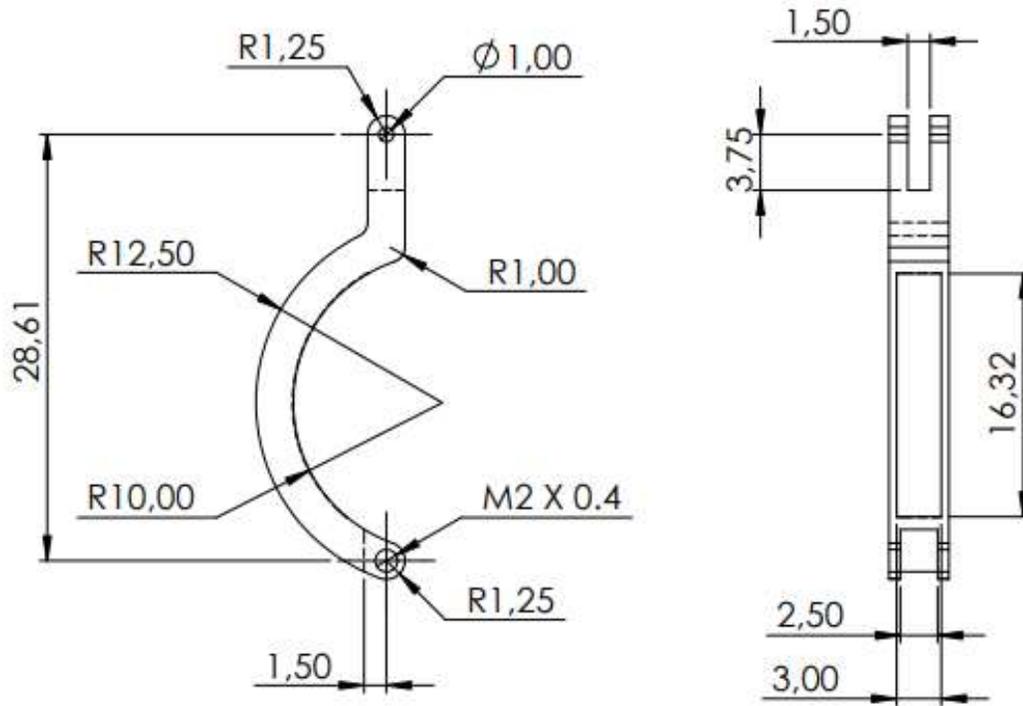
*Unión Inferior. Elaboración propia*



	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

**Figura 26**

*Banda Izquierda Dimensiones. Elaboración Propia*



	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

**Figura 27**

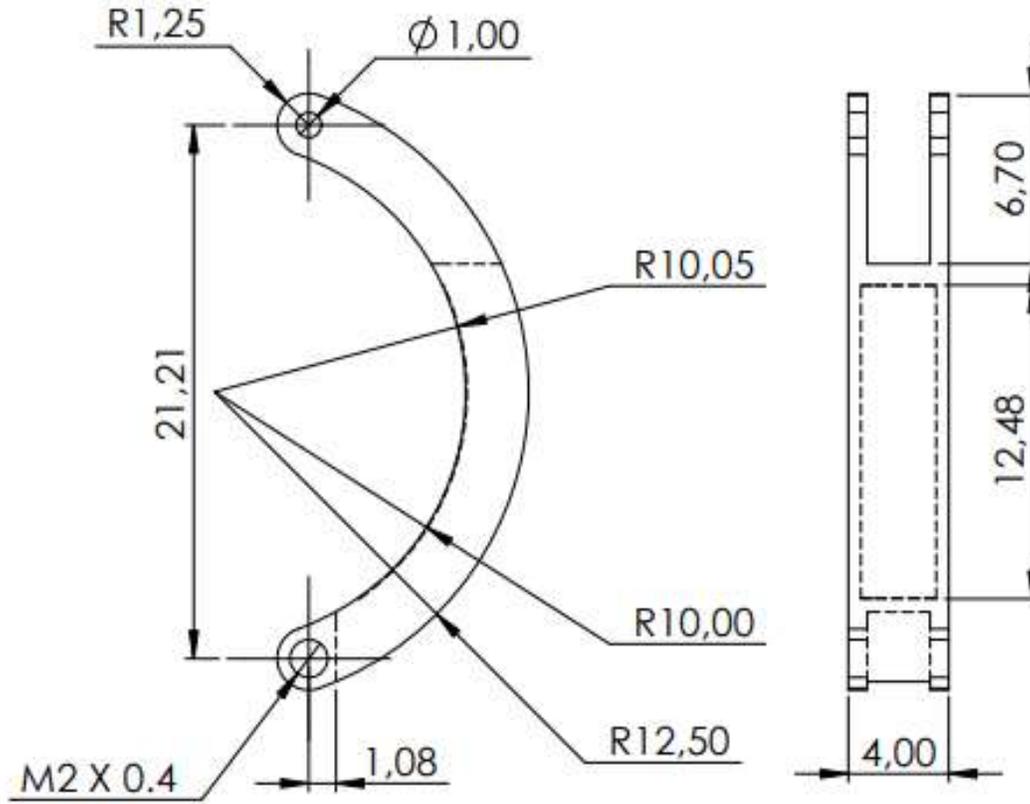
*Modelo banda Izquierda con el Material. Elaboración Propia*



	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

**Figura 28**

*Dimensiones Banda Derecha. Elaboración Propia*



	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

**Figura 29**

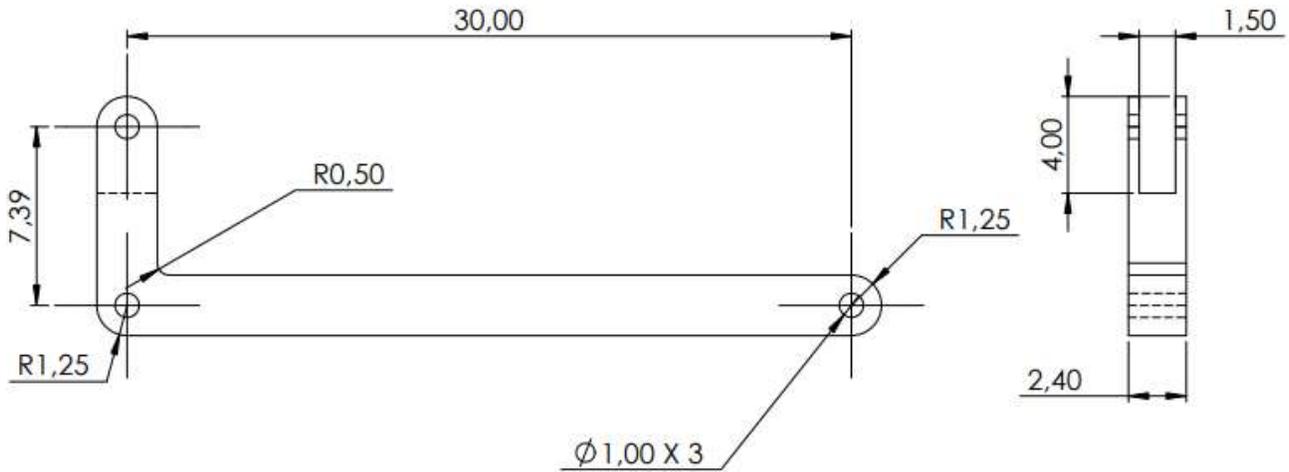
*Modelo Banda Derecha con el Material. Elaboración Propia*



	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

**Figura 30**

*Palanca del freno. Dimensiones. Elaboración Propia*



**Figura 31**

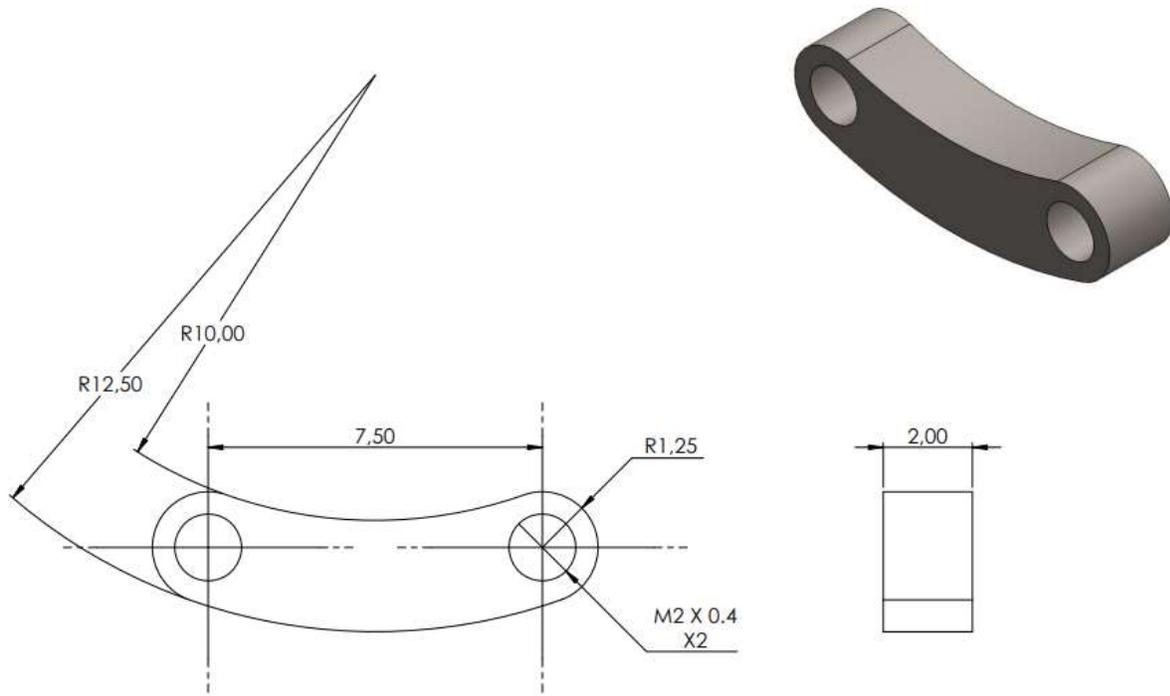
*Palanca del freno. con el Material. Elaboración Propia*



	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

**Figura 32**

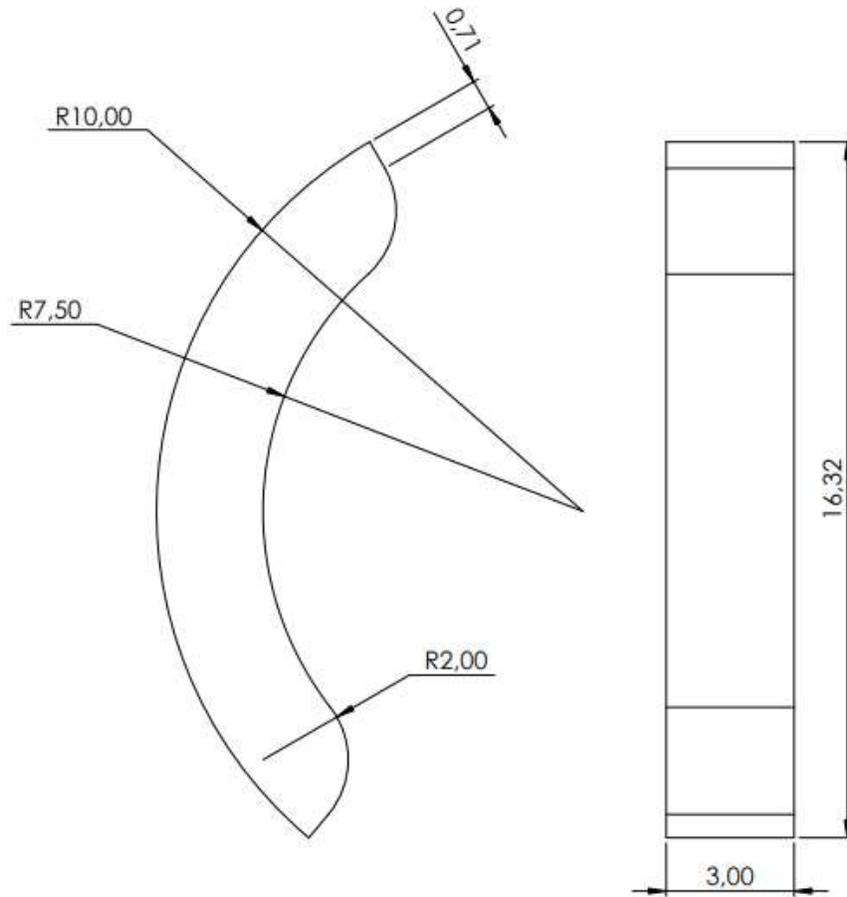
*Modelo Unión Superior Dimensiones y con el Material. Elaboración Propia*



	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

**Figura 33**

*Modelo Corcho Material Intercambiable Dimensiones. Elaboración Propia*



	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

**Figura 34**

*Modelo de corcho como material de fricción. Elaboración Propia*



	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

## 5. CONCLUSIONES, RECOMENDADOS Y TRABAJO FUTURO

---

- Para el diseño de un freno mecánico de un motor eléctrico se debe abordar materiales de fricción naturales que permitan compactar otros materiales de tipo cerámico evitando la utilización de materiales fibrosos y cancerígenos derivados del asbesto, en función de la velocidad, en el tiempo que se debe frenar.
- Materiales como el corcho, madera, caucho y cuero, a pesar de comportarse tan bien como elementos naturales de alto coeficiente de fricción, se degradan a una tasa mayor de uso que el asbesto y el hierro fundido, serán recomendados para regímenes de uso corto o intermitente y quedan para desarrollo de investigaciones futuras como alternativas de uso ecológico y menos nocivos para la salud humana.
- Se sugiere para cualquier nuevo diseño de freno de motores eléctricos tener en cuenta el mapa de las aplicaciones en función de la velocidad y el par de trabajo, porque determina el tiempo de frenado y la selección del material a utilizar para el coeficiente de fricción.
- En la etapa exploratoria no se encontraron amplias referencias con información técnica acerca de frenos mecánicos para motores eléctricos, ni en textos de física, ni trabajos de investigación y fabricantes de motores, se encontró información solo de frenos eléctricos para motores eléctricos, y se inició el diseño bajo el modelo de freno de sistema mecánico para automóviles.
- Se presentaron obstáculos como el espacio disponible del eje para implementar los frenos de histéresis magnéticos y frenos magnéticos, la idea del diseño era no intervenir de manera directa los componentes como es la caja de conexión eléctrica, el acople mecánico, el sistema de ventilación del motor, la brida y la carcasa, se tomó la opción de la zapata externa para iniciar la propuesta del diseño.
- Se orientó hacia los tipos de freno de zapata externa por las restricciones que tenía el motor, tanto en el acople mecánico como el espacio reducido que hay entre la brida y el acople.

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

## REFERENCIAS

- Álvarez V., C., Marín Q., J., & González C., J. (2007). Caracterización mecánica de un motor eléctrico de corriente alterna utilizando un freno de foucault. *Scientia Et Technica*, XIII(37), 187–192. <https://doi.org/10.22517/23447214.4057>
- Alvaro, F. (2021). *Tipos de frenos: Disco y tambor, componentes y funcionamiento*. 29 julio, 2021. <https://www.autonocion.com/frenos-disco-tambor-componentes-tipos-funcionamiento/>
- Araque de los Ríos, O. (2012). Caracterización de materiales alternativos para frenos de fricción. *Scientia Et Technica*, 17(52), 26–31. <https://doi.org/10.22517/23447214.7845>
- Champions.partes.es. (2022). *PASTILLAS DE FRENO VS . ZAPATAS DE. PASTILLAS DE FRENO VS. ZAPATAS DE FRENO*. <https://www.championautoparts.es/news/brake-pads-vs-brake-shoes.html>
- Coello Triay Ignasi. (2018). *DISEÑO DEL SISTEMA DE FRENADO DE UN AUTOMÓVIL. CÁLCULO DE LA GEOMETRÍA, MATERIALES, ENERGÍA DISIPADA, PAR DE FRENADO, FUERZAS DE ACCIONAMIENTO Y CIRCUITO HIDRÁULICO*. En *Universidad Politecnica de Valencia*. Universidad Politecnica de Valencia.
- Criado, E. (2012). *Diseño y cálculo del sistema de frenado para un prototipo formula student*. Universidad Carlos III de Madrid.
- Deutschman, A., Michels, W., & Wilson, C. (1987). *Diseño de Maquinas- Teoria y Practica* (Segunda).
- Donald, A. R., Pradeep, F. P., & Wendelin, W. J. (2012). Ciencia e ingeniería de materiales. En D. A. R. . P. F. P. . W. W. J. (Ed.), *CENGAGE Learnig* (Sexta, Vol. 18, Número 6). CENGAGE Learnig. <https://doi.org/10.1515/znb-1963-0911>
- E-auto.com.mx. (2022). *Frenos 3 - Frenos de Tambor*. Frenos 3 - Frenos de Tambor. <http://www.e-auto.com.mx/enew/index.php/85-boletines-tecnicos/3504-frenos-de-tambor>
- EIDE. (2022). *PLANO SINGULAR. ELECTROMAGNÉTICOS, FRENOS MONODISCO DE SINGULAR, PLANO*, 1–2.
- Enelcoche.com. (2020). *Conoce el sistema de frenos de tu coche*. breaking news. <https://enelcoche.com/conoce-el-sistema-de-frenos-de-tu-coche/>
- Especiales, A. (2019). *Acero 1045*. ACERO 1045. <http://iirsacero.com.mx/wp-content/uploads/2019/08/Ficha-Técnica-Acero-1045-iirsacero.pdf>
- FRENKIT S.L. (2020). *Zapatas de freno: qué son y cuándo deberías cambiarlas*. FRENKIT S.L. <https://blog.frenkit.es/es/zapatas-de-freno-que-son>
- Mejicoro. (2022). *Frenos magnéticos con histéresis*. Frenos magnéticos con histéresis de Magnetic Technologies; EIDE. <https://www.mejicoro.com/producto/embragues-y-frenos-con-histeresis/>
- MITSUBISHI. (2021). *Los frenos de disco son la mejor opción por sus características y efectividad para el sistema de frenado*. MARZO 05, 2021. <https://mitsubishi-motors.com.co/blog/frenos-de-disco-que-son/>
- Norton Robert L. (2006). *Diseño De Maquinas Un Enfoque Integrado*. En Robert L. Norton (Ed.),

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

*Diseño de Elementos de Máquinas un enfoque integrado* (cuarta edi). Prentice Hall.  
Theodore, W. (2017). *Máquinas eléctricas y sistemas de potencia* (PEARSON (ed.); SEXTA).  
Tuningblog.eu. (2021). ¿ Pastillas de freno de metal sinterizado , cerámica , poco metálico u orgánicas ?  
[https://www.tuningblog.eu/es/kategorien/tipps\\_tuev-dekra-uc/sintermetall-bremsbelaege-352752/](https://www.tuningblog.eu/es/kategorien/tipps_tuev-dekra-uc/sintermetall-bremsbelaege-352752/)

<p>FIRMA ESTUDIANTES</p>	<p style="text-align: right;">Cristian A. Ochoa A.</p> <hr style="border: 0; border-top: 1px solid black; margin-top: 10px;"/> <hr style="border: 0; border-top: 1px solid black; margin-top: 10px;"/>
	<p>FIRMA ASESORES</p>
	<p style="font-size: 1.2em;">Santafé</p> <p style="font-size: 0.8em;">Concesionario informe final. 5 NOV / 2022</p>
	<p>FECHA ENTREGA: _____</p>