



# **ESPE**

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA**

## **DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL  
TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO**

**TEMA: “PROPUESTA DE UN MATERIAL COMPUESTO CON  
FIBRAS ECUATORIANAS PARA SU USO COMO  
CONSTITUYENTE DE FRENOS”**

**AUTOR: ARMAS REAL, DANIEL ALBERTO**

**DIRECTOR: ING. PhD. GOYOS, LEONARDO**

**SANGOLQUÍ**

**2017**



**ESPE**  
**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS**  
**INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA**

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

## **CERTIFICACIÓN DE ELABORACIÓN DEL PROYECTO**

Certifico que el trabajo de titulación: **“PROPUESTA DE UN MATERIAL COMPUESTO CON FIBRAS ECUATORIANAS PARA SU USO COMO CONSTITUYENTE DE FRENOS”** elaborado por el señor **DANIEL ALBERTO ARMAS REAL**, ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio, el mismo que cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE, por lo tanto me permito acreditar y autorizar al señor **DANIEL ALBERTO ARMAS REAL** para que lo ampare públicamente.

Sangolquí, 27 de Julio del 2017

---

Ing. PhD. Leonardo Goyos

Director



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

### **AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD**

Yo, **DANIEL ALBERTO ARMAS REAL** con cedula de ciudadanía N° 180354221-4 declaro que este trabajo de titulación: **“PROPUESTA DE UN MATERIAL COMPUESTO CON FIBRAS ECUATORIANAS PARA SU USO COMO CONSTITUYENTE DE FRENOS”** ha sido elaborado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos de autor mencionándose en las citas bibliográficas.

Por lo tanto, declaro que este trabajo es de mi autoría, en virtud de ello soy absolutamente responsable del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

Sangolquí, 27 de Julio del 2017

---

Daniel Alberto Armas Real

1803542214



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**AUTORIZACIÓN**

Yo, **DANIEL ALBERTO ARMAS REAL** autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE publicar en la biblioteca virtual de la institución el presente trabajo de titulación: “**PROPUESTA DE UN MATERIAL COMPUESTO CON FIBRAS ECUATORIANAS PARA SU USO COMO CONSTITUYENTE DE FRENOS**”, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad y autoría.

Sangolquí, 27 de Julio del 2017

---

Daniel Alberto Armas Real

1803542214

## DEDICATORIA

Este pequeño logro va dedicado para mi familia, en especial para ti PAPI, sé que estás orgulloso de mí, y te juro que siempre lo estarás. Tú me enseñaste a ser mejor persona, a ser luchador, noble y perseverante.

A mi mami, esto va por ti mamita y es tu logro también. Por fin tu sueño y el de mi papi se hizo realidad.

Para mis hermanos por darme el ejemplo de constancia y dedicación.

A mis amigos por haber formado parte de este logro.

A mi tía Enmita, a mi tío Manuel, por siempre interesarse por mis estudios.

Daniel Armas

## AGRADECIMIENTO

Gracias a la persona que confió ciegamente en mí, a mi ángel que está sentado en el cielo mirándome, de seguro el cielo sigue de fiesta. Porque fue, es y será mi más grande motivación, inspiración y ejemplo. Y que siempre estará a mi lado. Te amo mucho papi.

A mi mami Isabel, por estar ahí en todo momento y darme consejos, por siempre ver mi bienestar, por esas largas noches que junto a mi papi anhelaban mi regreso a casa para poder disfrutar de un plato de comida junto a mis hermanos y por ser junto a mi papi las personas más importantes de mi vida. Gracias Mami.

A mi hermana Cristina, por brindarme su apoyo como mujer y como amiga, además de consentirme hasta la actualidad. Gracias Gordita.

A mi hermano Rómulo Jr. por convertirse en mi segundo padre, por ser un amigo incondicional y estar junto a mí en todo momento. Gracias ñaño.

A mi sobrino Joaquincito, por sacarme una sonrisa en momentos de tristeza y por ver en él, el reflejo de mi papi. Gracias Chiquitín.

A esa persona especial que me apoyo en mis momentos difíciles.

A todos mis familiares por siempre brindarme palabras de aliento.

A todos mis profesores durante la vida universitaria que me brindaron conocimientos y consejos para mi etapa profesional.

Al Ing. PhD. Leonardo Goyos por su apoyo a cada instante durante esta investigación.

A mi amigo Andrés Ávalos porque comenzamos juntos la carrera y de igual manera la terminamos.

Y demás amigos, por alegrarme días amargos y por haber sido parte de mi vida universitaria.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN DE ELABORACIÓN DEL PROYECTO .....	ii
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD .....	iii
AUTORIZACIÓN.....	iv
DEDICATORIA .....	v
AGRADECIMIENTO .....	vi
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	vii
ÍNDICE DE TABLAS .....	x
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	xi
RESUMEN.....	xiv
ABSTRACT.....	xv
<b>CAPÍTULO 1.....</b>	<b>1</b>
<b>1. GENERALIDADES .....</b>	<b>1</b>
1.1. ANTECEDENTES .....	1
1.2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA .....	1
1.3. OBJETIVOS .....	2
1.3.1 OBJETIVO GENERAL .....	2
1.3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS .....	2
1.4. JUSTIFICACION E IMPORTANCIA .....	3
1.5. ALCANCE.....	3
<b>CAPÍTULO 2.....</b>	<b>5</b>
<b>2. ESTADO DEL ARTE.....</b>	<b>5</b>
2.1. SISTEMA DE FRENO DE UN VEHÍCULO .....	5

2.2.	TIPOS DE FRENO .....	6
2.2.1.	FRENO DE DISCO .....	6
2.2.1.1.	FRENO DE DISCO DE MORDAZA FIJA .....	6
2.2.1.2.	FRENO DE DISCO DE BASTIDOR FLOTANTE .....	6
2.2.1.3.	FRENO DE DISCO DE MORDAZA FLOTANTE.....	7
2.2.1.4.	PASTILLAS DE FRENO .....	8
2.2.2.	FRENO DE TAMBOR .....	12
2.2.2.	FRENO DE AIRE .....	12
2.3.	TEORÍA DE MATERIALES COMPUESTOS .....	13
2.3.1.	LA MATRIZ .....	14
2.3.2.	EL REFUERZO .....	14
2.3.3.	CLASIFICACIÓN DE LOS MATERIALES COMPUESTOS.....	15
2.3.2.1.	FIBRA DE VIDRIO .....	15
2.3.2.2.	FIBRA DE CARBONO .....	16
2.3.2.3.	FIBRAS ORGÁNICAS.....	16
2.3.2.4.	FIBRAS NATURALES.....	17
2.3.2.4.1.	FIBRA DE CÁSCARA DE PLÁTANO .....	18
2.3.2.4.2.	FIBRA DE COCO .....	19
2.3.2.4.3.	FIBRA DE PALMA AFRICANA .....	19
2.7.1.	RESINAS NATURALES .....	20
2.7.1.	RESINAS SINTÉTICAS .....	21
2.7.1.1.	RESINAS TERMOFRAGUANTES.....	22
2.7.1.1.1.	RESINA FENÓLICA .....	22
2.7.1.2.	RESINAS TERMOPLÁSTICAS.....	23

2.8. CARBÓN VEGETAL.....	23
2.9. ARENA SÍLICE.....	24
2.9. COMPOSICIÓN DE UNA PASTILLA PROFESIONAL .....	24
<b>CAPÍTULO 3.....</b>	<b>25</b>
<b>3. DISEÑO EXPERIMENTAL.....</b>	<b>25</b>
3.2. SELECCIÓN DE MATERIALES .....	25
3.3. CARACTERÍSTICAS Y PARÁMETROS .....	27
3.2. DISEÑO DEL MOLDE .....	28
3.4. MÉTODO DE OBTENCIÓN DE LAS FIBRAS.....	29
3.5. MÉTODO DE ELABORACIÓN DE LA PASTILLA .....	31
3.6. COMPOSICIÓN DE LA PASTILLA.....	34
<b>CAPÍTULO 4.....</b>	<b>39</b>
<b>4. ENSAYOS Y OBTENCIÓN DE DATOS .....</b>	<b>39</b>
4.1. ENSAYO DE DESGASTE .....	39
<b>CAPÍTULO 5.....</b>	<b>48</b>
<b>5. RESULTADOS .....</b>	<b>48</b>
5.1. ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	48
<b>CAPÍTULO 6.....</b>	<b>59</b>
<b>6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>59</b>
6.1. CONCLUSIONES.....	59
6.2. RECOMENDACIONES .....	60
BIBLIOGRAFÍA.....	61
ANEXOS.....	64

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Composición en %Peso recomendada según el tipo de pastilla .....	24
<b>Tabla 2:</b> Composición de las probetas en la primera fase exploratoria .....	34
<b>Tabla 3:</b> Composición química de las probetas en la segunda fase exploratoria. .....	35
<b>Tabla 4:</b> Composición química de las probetas en la tercera fase. ....	37
<b>Tabla 5:</b> Composición química de las probetas en la fase final.....	37
<b>Tabla 6:</b> Rango de medición del torque.....	41
<b>Tabla 7:</b> Datos obtenidos de las pastillas en la segunda fase .....	44
<b>Tabla 8:</b> Datos obtenidos de las pastillas en la tercera fase .....	45
<b>Tabla 9:</b> Datos obtenidos de las pastillas en la fase final .....	46
<b>Tabla 10:</b> Datos obtenidos con las pastillas de freno semi-metálicas comerciales.....	47
<b>Tabla 11:</b> Grupo de datos de la fase 2 .....	48
<b>Tabla 12:</b> Tabla de relaciones previa al análisis de regresión multivariable .....	49
<b>Tabla 13:</b> Resultados regresión segunda fase .....	50
<b>Tabla 14:</b> Ecuaciones de regresión lineal entre tasa de desgaste y torque obtenido .....	56

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Sistema de freno de un vehículo.....	6
<b>Figura 2:</b> Tipos de freno de disco.....	7
<b>Figura 3:</b> Componentes de un freno de disco .....	8
<b>Figura 4:</b> Pastilla de freno semimetálica .....	9
<b>Figura 5:</b> Pastilla de freno cerámica.....	10
<b>Figura 6:</b> Pastilla de freno sinterizada.....	10
<b>Figura 7:</b> Pastilla de freno orgánica .....	11
<b>Figura 8:</b> Componentes de un freno de tambor.....	12
<b>Figura 9:</b> Freno de aire .....	13
<b>Figura 10:</b> Material compuesto básico .....	13
<b>Figura 11:</b> Clasificación de los materiales compuestos .....	15
<b>Figura 12:</b> Fibra de vidrio .....	16
<b>Figura 13:</b> Fibra de carbono.....	16
<b>Figura 14:</b> Fibra orgánica – Aramida.....	17
<b>Figura 15:</b> Fibra de lino .....	17
<b>Figura 16:</b> Cáscara de plátano.....	18
<b>Figura 17:</b> Fibra de coco .....	19
<b>Figura 18:</b> Fibra del raquis de palma africana.....	19
<b>Figura 19:</b> Cuesco de la palma africana .....	20
<b>Figura 20:</b> Resina Natural – Ámbar.....	21
<b>Figura 21:</b> Politetrafluoroetileno .....	21
<b>Figura 22:</b> Resina Fenólica en polvo.....	22
<b>Figura 23:</b> Poliestireno .....	23
<b>Figura 24:</b> Carbón vegetal .....	23
<b>Figura 25:</b> Arena Sílice .....	24
<b>Figura 26:</b> Fibra de la cáscara de plátano durante 1 día de secado .....	29
<b>Figura 27:</b> Fibra de la cáscara de plátano durante 2 semanas de secado.....	30
<b>Figura 28:</b> Fibra de coco en proceso de secado .....	30

<b>Figura 29:</b> Cuesco de palma africana seco .....	31
<b>Figura 30:</b> Cuesco de palma africana en partículas.....	31
<b>Figura 31:</b> Recipiente con algunos componentes de la pastilla .....	32
<b>Figura 32:</b> Aplicación de calor al molde con la ayuda de un soplete.....	33
<b>Figura 33:</b> Prensado de la mezcla dentro del molde.....	33
<b>Figura 34:</b> Probeta o pastilla desmoldada.....	34
<b>Figura 35:</b> Plancha de pastilla de freno semimetálica.....	38
<b>Figura 36:</b> Pastilla de freno semimetálica con geometría para realizar el ..... ensayo de desgaste.....	38
<b>Figura 37:</b> Máquina AMSLER del Laboratorio de Mecánica de Materiales .....	39
<b>Figura 38:</b> Dinamómetro .....	40
<b>Figura 39:</b> Pesos del péndulo.....	42
<b>Figura 40:</b> Pastilla de freno semimetálica comercial montada en la máquina Amsler.....	42
<b>Figura 41:</b> Probeta fabricada con resina fenólica y polvo de carbón.....	43
<b>Figura 42:</b> Gráfica tridimensional de la tasa de desgaste por puntos muestrales .....	51
<b>Figura 43:</b> Gráfico de dispersión R/As vs Tasa de desgaste. ....	52
<b>Figura 44:</b> Gráfico de dispersión R/F vs Tasa de desgaste .....	52
<b>Figura 45:</b> Gráfica tridimensional. Torque y tasa de desgaste, tercera fase coco .....	53
<b>Figura 46:</b> Gráfica tridimensional. Torque y tasa de desgaste, Tercera fase palma .....	54
<b>Figura 47:</b> Gráfica tridimensional. Torque y tasa de desgaste, Fase final coco .....	54
<b>Figura 48:</b> Gráfica tridimensional. Torque y tasa de desgaste, Fase final palma .....	55
<b>Figura 49:</b> Gráfica tridimensional. Torque y tasa de desgaste, Pastilla semimetálica comercial.....	55

<b>Figura 50:</b> Gráfica de dispersión entre Tasa de desgaste y torque, para la tercera fase de coco. ....	56
<b>Figura 51:</b> Gráfica de dispersión entre Tasa de desgaste y torque, para la tercera fase de palma. ....	57
<b>Figura 52:</b> Gráfica de dispersión entre Tasa de desgaste y torque, para la fase final de coco. ....	57
<b>Figura 53:</b> Gráfica de dispersión entre Tasa de desgaste y torque, para la fase final de palma. ....	58
<b>Figura 54:</b> Gráfica de dispersión entre Tasa de desgaste y torque, para la pastilla de freno semimetálica. ....	58

## RESUMEN

La presente investigación tiene como finalidad el estudio de un material compuesto con fibras naturales como constituyente de frenos. Se ha determinado la factibilidad del uso de fibras naturales ecuatorianas con la finalidad de ser amigables con el medio ambiente, transformando los desechos en recursos. Se realizaron varias composiciones partiendo de una recomendación por parte del Departamento de Energía de los Estados Unidos y haciendo ensayos de desgaste y medición de torque de pastillas cuya geometría viene regida por la máquina de ensayos de desgaste de la Universidad de las Fuerzas Armadas. Además, se compararon los mejores valores obtenidos de la propuesta fabricada con los valores obtenidos de una pastilla de freno semimetálica comercial. Los resultados finales demuestran la influencia de la resina y demás componentes en la mejoría de la composición final además de obtener resultados válidos para un estudio experimental como el nuestro.

Palabras claves:

- **MATERIAL COMPUESTO**
- **PASTILLA DE FRENO**
- **FIBRAS NATURALES**
- **DESGASTE**
- **CAPACIDAD DE FRENAJE**

## **ABSTRACT**

The current investigation aims to study a composite material with natural fibers as a constituent of brakes. The feasibility of the use of Ecuadorian natural fibers has been determined in order to be friendly with the environment, transforming wastes into resources. Several compositions were made based on a recommendation by the United States Department of Energy and testing wear and torque measurement of pellets whose geometry is governed by the wear testing machine of the University of the Armed Forces. In addition, the best values obtained from the manufactured proposal were compared with the values obtained from a commercial semi-metallic brake pad. The final results show the influence of the resin and other components in the improvement of the final composition, besides obtaining valid results for an experimental study like ours.

Keywords:

- **COMPOSITES**
- **BRAKE PAD**
- **NATURAL FIBERS**
- **WEAR**
- **BRAKING CAPACITY**

# **CAPÍTULO 1**

## **1. GENERALIDADES**

### **1.1. ANTECEDENTES**

En Estados Unidos los frenos de tambor fueron usados alrededor de 70 años, ya que los frenos de disco a pesar de que no tuvieron una buena aceptación en dicho país, fueron utilizados en Europa.

En 1902 el británico Frederick Lanchester obtuvo la patente de lo que sería el freno de disco moderno el cual en un principio usaba una pastilla de cobre y aunque servía para reducir la velocidad de los vehículos producía escandalosos ruidos por la fricción entre la pastilla de cobre y el metal del disco.

Cinco años después, Henry Froad cubre las pastillas con asbesto para reducir los molestos ruidos producidos al frenar. El freno de disco calentaba menos que el de tambor y cumplía las expectativas de los vehículos más rápidos de ese tiempo, aunque no terminaba de encajar en el mercado Estadounidense.

Las partículas que desprenden las pastillas de asbesto son imposibles de ver pueden causar enfermedades graves como el cáncer de pulmón. Es por eso que conforme pasó el tiempo nuevos tipos de pastillas de freno fueron diseñadas, usando diversos materiales como metal, cerámica, carbón, etc.

Una excelente opción es usar materiales compuestos para la fabricación de las pastillas orgánicas con fibras naturales con el fin de que sean amigables con el medio ambiente.

### **1.2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA**

Hoy en día en el mercado nacional de repuestos automotrices existe una gran variedad de pastillas de freno. Dependiendo de la aplicación que se le quiera

dar se seleccionan las mejores alternativas que cumplan con los principales requerimientos, los cuales son: que sean silenciosas, que brinden un frenado a ras, que su durabilidad sea buena.

Sin embargo, existen pastillas de freno que no son amigables con el medio ambiente e incluso producen partículas carcinógenas cuando se desgastan como es el caso de las pastillas de asbesto, también llamadas de amianto.

El problema a abordar en la presente investigación es la poca información existente acerca de la disponibilidad de desarrollar materiales compuestos a partir de materiales amigables con el medio ambiente que sirvan razonablemente para la producción de pastillas de freno.

Lo que se busca con esta investigación es explorar el uso de las materias y fibras naturales abundantes en el Ecuador para evaluar la posibilidad de tener pastillas de freno con propiedades similares a las pastillas del mercado como las pastillas metálicas, semimetálicas y cerámicas pero a un costo menor, tanto económico como ambiental.

### **1.3. OBJETIVOS**

#### **1.3.1 OBJETIVO GENERAL**

- Desarrollar un material para elementos frenantes a partir de la mayor agregación de materias primas de origen nacional.

#### **1.3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Determinar la factibilidad del uso de fibras naturales ecuatorianas en la fabricación de compuestos para frenado.

- Determinar la potencial utilización de resinas naturales o sintéticas producidas en Ecuador para su aplicación como matriz del elemento frenante.
- Comparar las propiedades mecánicas obtenidas de las pastillas con fibras de banano, coco y palma.
- Identificar el compuesto con las mejores propiedades mecánicas.

#### **1.4. JUSTIFICACION E IMPORTANCIA**

Debido al uso de materiales contaminantes en el mercado se propone una alternativa que ayude a minorar los índices de contaminación ambiental producidos por el desgaste de las pastillas de freno en los vehículos.

La alternativa que se empleará será a base de material compuesto, usando fibras naturales de origen nacional, que, en nuestro caso serán de gran facilidad de adquisición, debido a que son desechos orgánicos a los que no les dan uso, y aprovechando esos desechos reducir costos de producción.

Las pastillas de freno seguirán usándose muchísimos años más, es por eso que es de gran importancia usar pastillas de freno orgánicas y no contaminar el ambiente.

En nuestro país no se fabrican pastillas de freno, las compañías solo se dedican a la importación y venta de las mismas, es por eso que se debería poner atención e importancia en fabricar pastillas de freno de origen nacional.

#### **1.5. ALCANCE**

Nuestro estudio se trata de un estudio exploratorio, es decir, que no se tienen muchas investigaciones anteriores enfocadas al uso de materias primas naturales que estén documentadas en la literatura.

Por lo tanto, lo que se espera es establecer líneas de trabajo fundamentales para obtener similares propiedades que las pastillas que podemos encontrar en el mercado, al igual que un bajo costo de producción y que sea favorable con el medio ambiente.

Las propiedades tomadas como referente fundamental serán: el desgaste de la pastilla, el par de frenado y la factibilidad tecnológica de producción.

Específicamente se espera obtener propiedades similares a las pastillas de carbón que son las más vendidas en el mercado nacional, debido a su bajo costo.

## **CAPÍTULO 2**

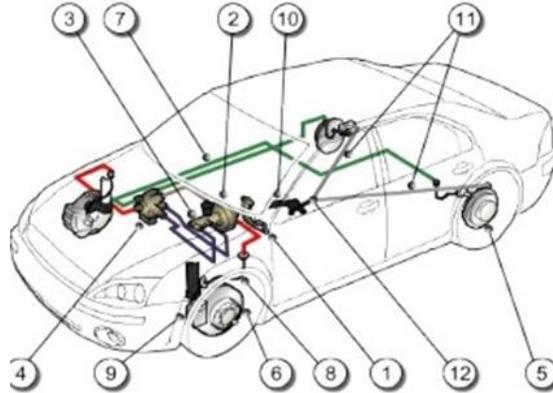
### **2. ESTADO DEL ARTE**

#### **2.1. SISTEMA DE FRENO DE UN VEHÍCULO**

El sistema de frenos funciona cuando el conductor pisa el pedal del freno, con lo cual ejerce presión en el sistema que acciona los elementos de fricción, bandas y campanas o pastillas y discos, y limita o anula el efecto de giro de las llantas, llevando finalmente a la detención del vehículo. (Tarun, 2012)

Los componentes del sistema de freno son:

- 1) Pedal de freno
- 2) Conjunto Servo freno
- 3) Cilindro maestro
- 4) Válvula combinada
- 5) Tambor trasero
- 6) Disco delantero
- 7) Líneas de freno
- 8) Latiguillo de freno
- 9) Cáliper
- 10) Palanca de freno de estacionamiento
- 11) Cable de freno de estacionamiento
- 12) Compensador de freno de estacionamiento. (Muñoz, S/F)



**Figura 1:** Sistema de freno de un vehículo

Fuente: (Muñoz, S/F)

## 2.2. TIPOS DE FRENO

Los tipos de freno más usados en la actualidad son:

### 2.2.1. FRENO DE DISCO

Estos tipos de frenos generan las fuerzas de frenado en la superficie de un disco de freno que gira con la rueda. La mordaza de freno está fijada en piezas del automóvil sin someterse a rotación. (Bosch, 2003)

#### 2.2.1.1. FRENO DE DISCO DE MORDAZA FIJA

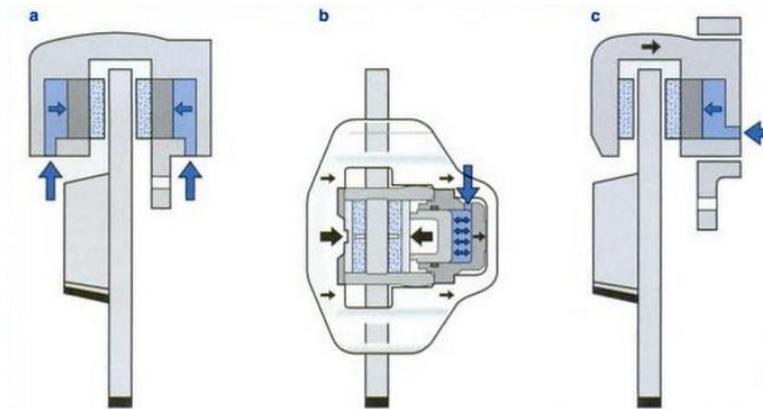
Freno de disco de mordaza fija: Dentro de una caja fija, dos émbolos aprietan por ambos lados los forros del freno contra el disco. (Ilustración 2a)

#### 2.2.1.2. FRENO DE DISCO DE BASTIDOR FLOTANTE

Un soporte fijo sostiene un bastidor movable. El émbolo de freno aprieta el forro del freno interior directamente contra el disco de freno, mientras que el cuerpo del cilindro de freno desplaza el bastidor flotante y con ello aprieta indirectamente el forro exterior contra el disco. (Ilustración 2b)

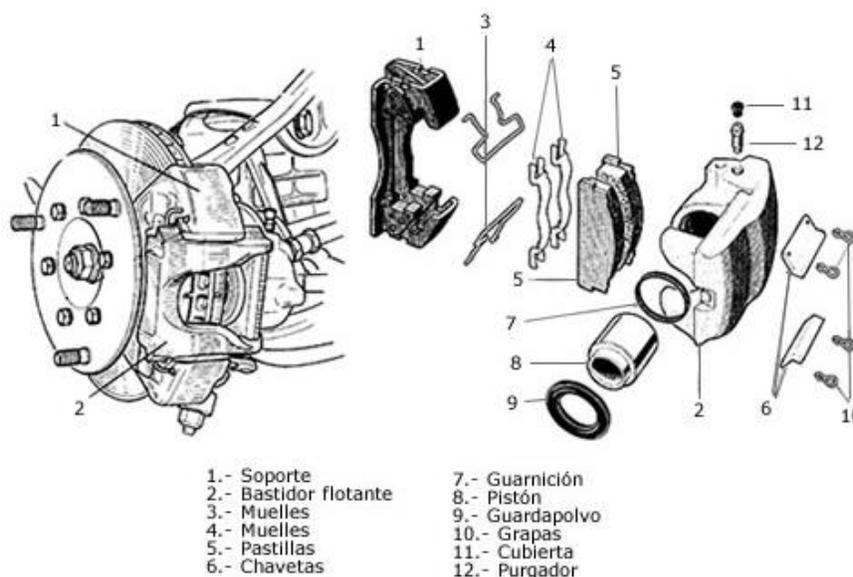
### 2.2.1.3. FRENO DE DISCO DE MORDAZA FLOTANTE

Freno de disco de mordaza flotante: El émbolo alojado en una caja movable aprieta el forro de freno interior directamente contra el disco. La fuerza de reacción entonces generada desplaza la caja y con ello aprieta indirectamente el forro de freno exterior contra el disco de freno. (Bosch, 2003) (Ilustración 3a)



**Figura 2:** Tipos de freno de disco

Fuente: (Bosch, 2003)



**Figura 3:** Componentes de un freno de disco

Fuente: (Dominguez, Elementos amóviles, 2014)

#### 2.2.1.4. PASTILLAS DE FRENO

Las pastillas de freno son esenciales dentro del sistema de frenado del automóvil ya que proporcionan la fricción necesaria a los discos de freno de tal forma que cuando accionamos el pedal, nuestro vehículo se detiene.

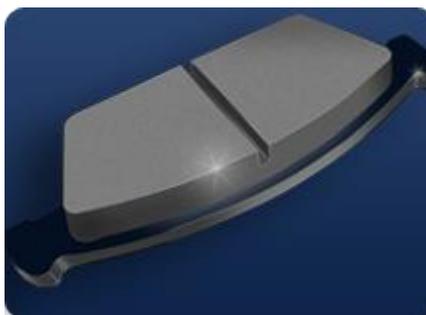
Las pastillas de freno deben desgastarse por igual en toda su superficie. En su comprobación, es preciso desmontarlas de las pinzas, limpiar sus anclajes de restos de pastillas gastado y oxidación. (Dominguez, Sistemas de transmisión y frenado, 2014)

Por tanto, será necesario para garantizar una frenada óptima y eficaz que las pastillas de freno se encuentren en buen estado, ya que de lo contrario se aumentará la distancia de frenado y podrían ocasionarse derrapes indeseados. Tanto el buen estado de las pastillas de freno, como el buen estado de los discos de freno serán esenciales a la hora de garantizar una frenada segura y uniforme. (Dominguez, Sistemas de transmisión y frenado, 2014)

Las pastillas se cambian en conjunto, las cuatro del mismo eje. Un desgaste irregular de la pastilla indica una anomalía en la pinza de freno, ya sea porque esta no se desliza correctamente o porque alguno de sus émbolos se encuentre agarrotado.

Los tipos de pastillas de frenos son:

- **Semimetálica:** Estas pastillas tienen como propósito, conseguir la misma 'mordida' inicial y el óptimo funcionamiento sin ruido de las pastillas orgánicas, pero con la resistencia al desgaste y a las altas temperaturas de las pastillas sinterizadas.



**Figura 4:** Pastilla de freno semimetálica

Fuente: (Mitticorp, 2010)

Además son fabricadas a base de fibras orgánicas e inorgánicas combinadas con fibras metálicas, usando resina fenólica como aglutinante de dicho compuesto. (Mountainbike, 2013)

- **Cerámica:** Es la pastilla que más altas temperaturas resiste, no desprende suciedad típica de las pastillas semimetálicas u orgánicas. Además, es la más costosa de todos los tipos de pastillas de freno. (Garibaldi, 2014)



**Figura 5:** Pastilla de freno cerámica

Fuente: (Owen, 2011)

- **Sinterizadas:** Estas pastillas se elaboran mediante un proceso de fabricación que permite la transformación de partículas metálicas en partes metálicas sólidas.

El material de fricción por las que están formadas estas pastillas es mediante partículas metálicas (Cu, Br, Fe, etc.) unidas entre sí mediante una combinación de calor y presión, dando forma al producto final. Posee durabilidad y resistencia a altas temperaturas.

Son ruidosas y difíciles de acoplar además que gastan el disco de freno mucho más rápido. Mayor durabilidad y resistencia a altas temperaturas. (Mountainbike, 2013)



**Figura 6:** Pastilla de freno sinterizada

Fuente: (Secomoto, 2017)

- **Orgánicas:** Las pastillas orgánicas están compuestas a base de fibras orgánicas e inorgánicas, por lo general unidas entre sí mediante resinas especiales. Su tiempo de duración no es tan largo como la de las pastillas sinterizadas, aunque ofrecen una mejor mordida inicial y un funcionamiento sin mucho ruido.

Este compuesto, es más blando que el de las metálicas, proporciona una mejor distribución de la potencia y su funcionamiento es más silencioso, aunque también presenta una menor potencia de frenado y una menor resistencia al calor. (Mountainbike, 2013)



**Figura 7:** Pastilla de freno orgánica

Fuente: (Full Brakes, 2014)

Las pastillas de freno orgánicas están compuestas principalmente por:

- Resina
- Fibras orgánicas
- Metal
- Lubricante
- Alúmina
- Grafito

Fuente: (LABORATORY, 2001)

### 2.2.2. FRENO DE TAMBOR

Constituido por un tambor, siendo el elemento móvil, montado sobre el buje de la rueda por medio de unos tornillos y tuercas, quien transmite el movimiento, y un plato de freno, que es el elemento fijo sujeto al puente o la mangueta. Aquí van instalados los elementos de fricción, llamados ferodos o pastillas, y los mecanismos de accionamiento para el desplazamiento de las zapatas. (Dominguez, Elementos amóviles, 2014)



**Figura 8:** Componentes de un freno de tambor

Fuente: (Dominguez, Elementos amóviles, 2014)

### 2.2.2. FRENO DE AIRE

La mayor parte de camiones usan frenos de aire, debido a que es un sistema más económico y potente pero no muy seguro. La presión que ejerce el pie en el pedal es asistida por el sistema de aire comprimido, mucho más poderoso que

los convencionales pero que, en caso de detenerse el motor puede resultar peligroso debido a que éste es el que produce el aire comprimido. (Hola, 2012)

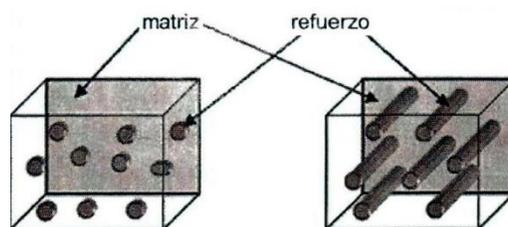


**Figura 9:** Freno de aire

Fuente: (Hola, 2012)

### 2.3. TEORÍA DE MATERIALES COMPUESTOS

Cada vez es mayor el uso de materiales compuestos en las distintas ramas de la ingeniería, dado que las diferentes maneras de combinar los materiales componentes permiten optimizar el diseño de piezas estructurales. Combinan materiales con el objetivo de obtener la mejor combinación de propiedades, como por ejemplo tener la flexibilidad y peso de un polímero con la resistencia de una cerámica. El hormigón y los neumáticos son un claro ejemplo de materiales compuestos. (Rastellini, 2003)



**Figura 10:** Material compuesto básico

Fuente: (Stupenengo, 2011)

En todo material compuesto se distinguen dos componentes:

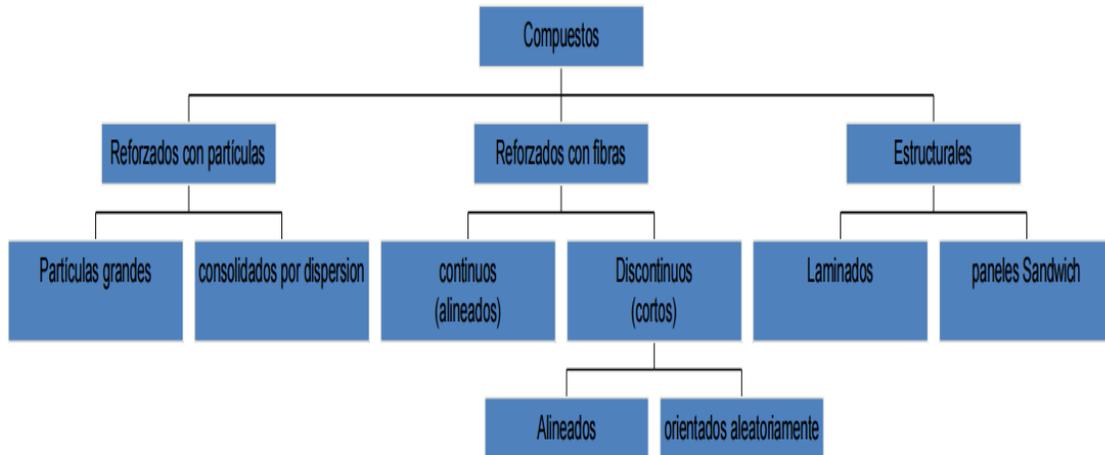
### **2.3.1. LA MATRIZ**

- Actúa como ligante, además soporta las fibras en su posición correcta.
- Transmite la carga a las fibras fuertes.
- Las protege de sufrir daños durante su manipulación y su uso evita la propagación de grietas en las fibras a lo largo del compuesto.
- La matriz es la responsable del control principal de las propiedades eléctricas, químicas y térmicas del compuesto. Las matrices poliméricas son las que más se usan.
- La mayoría de los polímeros están disponibles en el mercado con el agregado de fibras de vidrio como refuerzo. (Stupenengo, 2011)

### **2.3.2. EL REFUERZO**

Es el elemento resistente, puede ser partículas o fibras. El refuerzo es más efectivo cuanto menor tamaño tienen las partículas y están homogéneamente distribuidas en la matriz o cuando se incrementa la relación long/diám de la fibra. Los materiales de refuerzo pueden mostrarse en forma de partículas en un amplio grupo de materiales compuestos, los más usados son aquellos cuyos refuerzos son fibras. (Stupenengo, 2011)

### 2.3.3. CLASIFICACIÓN DE LOS MATERIALES COMPUESTOS



**Figura 11:** Clasificación de los materiales compuestos

Fuente: (Rastellini, 2003)

Los principales tipos de fibras son:

#### 2.3.2.1. FIBRA DE VIDRIO

Son las fibras más usadas, principalmente debido a su bajo costo comparado a las de carbono o de aramida. Las matrices más comunes son las resinas de poliéster. Posee similares propiedades de densidad y tracción que las de carbono pero menor resistencia y módulo de tensión, aunque sufren mayor elongación sin quebrarse. (Stupenengo, 2011)



**Figura 12:** Fibra de vidrio

Fuente: (Diez, 2011)

### **2.3.2.2. FIBRA DE CARBONO**

Estas fibras poseen elevada resistencia mecánica y rigidez, pero con baja resistencia al roce y al impacto de baja energía. (Stupenengo, 2011)



**Figura 13:** Fibra de carbono

Fuente: (Carbosystem, S/F)

### **2.3.2.3. FIBRAS ORGÁNICAS**

Utilizados ampliamente, en los materiales compuestos más ligeros que aislantes eléctricos que se basan en fibra de carbono. Poseen propiedades mecánicas inferiores a los demás tipos de fibra. (Stupenengo, 2011)



**Figura 14:** Fibra orgánica – Aramida

Fuente: (Stupenengo, 2011)

#### **2.3.2.4. FIBRAS NATURALES**

Hoy en día, se usan más materiales reforzados con fibras que tengan menor costo e impacto medioambiental. Por esto, se están reforzando muchos polímeros con fibras naturales como el lino o la fibra de coco, siendo la industria automotriz en donde más se la aplica.



**Figura 15:** Fibra de lino

Fuente: (Doerner, Los materiales de pintura y su empleo en el arte, 2005)

Cabe recalcar que si las fibras de refuerzo provienen de vegetales, el impacto medioambiental es mucho más bajo. (Stupenengo, 2011)

#### 2.3.2.4.1. FIBRA DE CÁSCARA DE PLÁTANO

Es una fibra fina de alta calidad, posee propiedades como:

- La composición química de la fibra de banano es celulosa, hemicelulosa y lignina.
- Es una fibra muy fuerte.
- Tiene menor elongación.
- Tiene un aspecto algo brillante dependiendo del proceso de extracción e hilado.
- Es ligero.
- Tiene buena calidad de absorción de humedad. Absorbe y libera humedad muy rápidamente.
- Es biodegradable y no tiene efectos negativos sobre el medio ambiente y, por lo tanto, puede clasificarse como fibra ecológica. (Teonline, 2013)

En el Ecuador se puede obtener la fibra del plátano muy fácilmente debido a su vasta producción agrícola.



**Figura 16:** Cáscara de plátano

Fuente: (Valera, 2012)

#### 2.3.2.4.2. FIBRA DE COCO

Una de las ventajas del coco es que posee mucha fibra en su parte más exterior, comúnmente nadie usa esta parte del coco y como su producción es masiva en la costa ecuatoriana facilita su adquisición. Además, posee propiedades mecánicas muy buenas. (Ali, 2010)



**Figura 17:** Fibra de coco

Fuente: (Ali, 2010)

#### 2.3.2.4.3. FIBRA DE PALMA AFRICANA



**Figura 18:** Fibra del raquis de palma africana

Fuente: (Rufino, 2013)

Al igual que la fibra de plátano y coco, a la fibra de palma africana no le dan uso, debido al desconocimiento de sus propiedades mecánicas. De igual manera hay una gran producción de palma africana en el país, y es fácil conseguirlo.

El cuesco de la palma africana sirve como partículas para la fabricación de nuestra pastilla.



**Figura 19:** Cuesco de la palma africana

Fuente: (Rufino, 2013)

## **2.7. RESINAS**

### **2.7.1. RESINAS NATURALES**

Se llaman resinas a los productos de la secreción de savia de ciertos árboles, ya sea natural o provocada artificialmente por incisión en su corteza.

En su mayor parte están constituidas por ácidos y alcoholes resinosos de constitución orgánica complicada. Son insolubles en agua, pero se disuelven total o parcialmente en disolventes orgánicos como los hidrocarburos, cetonas, ésteres y alcoholes, dependiendo la solubilidad del origen de la resina.

Las resinas varían mucho en propiedades como el olor, la forma de solidificación, la dureza, la solubilidad, el color y su estabilidad. Se valora, para

su empleo en barnices, su transparencia y bajo contenido en impurezas. (Doerner, Los materiales de pintura y su empleo en el arte, 2005)



**Figura 20:** Resina Natural – Ámbar

(Doerner, Los materiales de pintura y su empleo en el arte, 2005)

### 2.7.1. RESINAS SINTÉTICAS

A lo largo de este siglo la industria química ha desarrollado numerosos materiales sintéticos. Las resinas sintéticas no imitan a las naturales, es decir, aportan características químicas y físicas que no se encuentran en las materias naturales. Las resinas sintéticas se disuelven en agua y se usan como aglutinantes en forma de una dispersión acuosa. (Doerner, Los materiales de pintura y su empleo en el arte, 2005)



**Figura 21:** Politetrafluoroetileno

Fuente: (Billmeyer, 2017)

### 2.7.1.1. RESINAS TERMOFRAGUANTES

Bajo la acción combinada del calor y la presión estas resinas polimerizan (reacción que, a partir de moléculas de escasa masa molecular, forma, por enlace de éstas, compuestos de masa molecular elevada) alcanzando un estado irreversible en el que el material se ha endurecido, resultando insoluble e infusible.

Durante el estampado se obtiene primero el fenómeno físico de la fusión y luego el químico de la polarización con el consiguiente endurecimiento de la pieza. (Ospina, 2008)

#### 2.7.1.1.1. RESINA FENÓLICA

Este tipo de resina es de uso comercial desde hace más tiempo que cualquier otro polímero sintético, sin tomar en cuenta el nitrato de celulosa. Posee excelentes propiedades adhesivas y resistencia de unión de los fenólicos.

Tiene muchas aplicaciones como la producción de forros para frenos, ruedas abrasivas, asientos, artesanías, barnices, aislamientos térmicos y otros revestimientos protectores, en su mayoría en la producción de madera laminada se utilizan adhesivos termoestables basados en resinas fenólicas. (Covarrubias, 2016)



**Figura 22:** Resina Fenólica en polvo

Fuente: (Covarrubias, 2016)

### 2.7.1.2. RESINAS TERMOPLASTICAS

Usadas en aplicaciones de bajos requisitos, aunque se están empezando a emplear termoplásticos avanzados para altas prestaciones. (Poveda, 2009)



**Figura 23:** Poliestireno

Fuente: (Rapin, 1997)

### 2.8. CARBÓN VEGETAL

Es un material combustible sólido, frágil y poroso con un alto contenido en carbono (del orden del 98 %). Se produce por calentamiento de madera y residuos vegetales, hasta temperaturas que oscilan entre 400 y 700 °C, en ausencia de aire.



**Figura 24:** Carbón vegetal

Fuente: (Idin, S/F)

## 2.9. ARENA SÍLICE

Abundante en la corteza terrestre. Componente básico de tierra, arena, granito, minerales. Materia prima para fabricación de vidrios, silicatos y cerámicas refractarias, especialmente usado en fundición.



**Figura 25:** Arena Sílice

Fuente: (Collantes, 2011)

## 2.9. COMPOSICIÓN DE UNA PASTILLA PROFESIONAL

Según el Departamento de Energía de los Estados Unidos las formulaciones recomendadas dependen del tipo de pastilla de freno que se desee fabricar.

**Tabla 1:**

Composición en %Peso recomendada según el tipo de pastilla

Function	Material	Organic pad (wt%)	Semi-met pad A (wt%)	Semi-met pad B (wt%)
Binder	phenolic resin	43	25	16
Fibers	organic fiber	20		
Metal	Cu	0.6	15	15
	Fe		43	3
	Al		3	2
Lubricant	graphite	15	7	4
Abrasive	alumina			5
Filler	rubber	2	5	
	paper	15		52
Other	unspecified	4.4	2	3

Fuente: (LABORATORY, 2001)

También recomiendan que el proceso de curado debe ser a través de calor-presión, es decir someter al molde a una temperatura de 300°F lo que equivale a alrededor de 150°C, con una carga aplicada de 4 a 8 toneladas, con una presión aproximada de 37 a 75 [Mpa] de presión durante aproximadamente 6 minutos.

## **CAPÍTULO 3**

### **3. DISEÑO EXPERIMENTAL**

#### **3.2. SELECCIÓN DE MATERIALES**

Como la investigación se basa en el diseño experimental de un material compuesto con fibras orgánicas, es decir pastillas de freno orgánicas, los materiales que se elijan deben ser principalmente amigables con el medio ambiente.

Un material compuesto puede estar formado por:

- Matriz
- Fibra
- Partícula
- Relleno

Partiendo de esto y sabiendo que deben ser amigables con el medio ambiente, los materiales para cada una de las partes fueron:

Matriz: Para la matriz de nuestro material compuesto tuvimos dos alternativas, la resina epoxi y la resina fenólica, siendo esta última la más usada en cuanto a la elaboración de las pastillas de freno comerciales. Es por ello que se escogió la resina fenólica, además que posee menor costo y tiene mejores propiedades que la resina epoxi. Una de las principales propiedades es el

proceso de curado en nuestro caso mientras el proceso de secado era más rápido mucho mejor. El proceso de curado de la resina epoxi dura alrededor de 24h mientras el proceso de curado de la resina fenólica dura unos 15 minutos. El esfuerzo de tracción de la resina fenólica es de 85 Mpa, mientras tanto que el de la resina epoxi es de 48 Mpa. La temperatura de transición de la resina fenólica es de 170 °C mientras que la de la epoxi es de 120 °C.

Se tuvo dificultad en cuanto a la obtención de la resina, el proceso de curado era más difícil de efectuar que la resina epoxi.

Fibra: Existe un sinnúmero de fibras naturales disponibles en el país pero la facilidad de obtención depende del lugar donde éstas se ubiquen. Las tres fibras que se escogieron para esta investigación son:

- Fibra de cáscara de plátano
- Fibra de coco
- Fibra de palma africana

Se escogieron las fibras mencionadas debido a su facilidad de obtención y a que las tres son desechos para la mayoría de personas.

Es decir, en la obtención de estas fibras no se invirtió nada de dinero, solo el costo de transporte de la fibra de la palma africana que fue enviado desde la ciudad de El Coca, las demás fibras se obtuvieron en la ciudad de Ambato.

Partículas: A medida que avanzaba nuestra investigación, nos dimos cuenta que las partículas del cuesco de la palma africana sirven por su gran dureza, es decir como elemento frenante para el diseño de nuestra pastilla.

Relleno: Se tenían varias opciones para elegir un relleno adecuado al campo de aplicación de nuestro material compuesto. Las pastillas de freno más usadas en el mercado nacional son las pastillas de freno de carbón o semimetálicas. Es por eso que se eligió el polvo de carbón vegetal como relleno.

Como agente desmoldeante se eligió la arena sílice ya que como sabemos sirve también como elemento frenante y como relleno.

### 3.3. CARACTERÍSTICAS Y PARÁMETROS

Debido a que en nuestra investigación usaremos la máquina AMSLER del Laboratorio de Mecánica de Materiales cuyo objetivo es medir el desgaste y el torque de las pastillas para diversos tipos de configuraciones dependiendo el tipo de desgaste que se desea obtener, es decir ambas probetas pueden girar, o una debe permanecer fija y la móvil, se elaboraron las probetas acorde a la geometría que establece dicha máquina, es decir la probeta debe tener las siguientes medidas:

$$D_{ext} = 30 \text{ a } 50 \text{ mm}$$

$$D_{int} = 15.7 \text{ mm (diámetro del eje en donde va sujeta la probeta)}$$

$$e = 8 \text{ a } 11 \text{ mm}$$

Además se deben tomar en cuenta todas las variables que se deben considerar en el diseño de una pastilla de freno comercial, entre ellas se encuentran:

- **Desgaste:** Es una de las más importantes a tomar en cuenta debido a que si no posee una tasa de desgaste baja la pastilla no tendrá mucha vida útil y por ende el vehículo será seguro. Además se debe tomar en cuenta si el desgaste que se genera producirá alto contenido de humo o partículas de desecho ya que de igual manera es importante porque no se desea contaminar el medio ambiente.
- **Temperatura:** A medida que existe fricción entre las pastillas y el disco, la temperatura de la misma va aumentando y puede llegar a alcanzar temperaturas entre 100 a 500 °C. La temperatura de combustión de las fibras es de aproximadamente 150 °C.

- Choque térmico: Si el vehículo transita por lugares con un cambio brusco de clima; por ejemplo de sol a lluvia en tan solo minutos, puede haber cambio de temperatura en la pastilla y se puede cristalizar.
- Torque: Es una variable muy importante debido a que podría darnos el valor del coeficiente de rozamiento si se desea llegar a conocer y comparar con otras pastillas.
- Sonido (Ruidoso o silencioso): Sin duda el sonido que emiten las pastillas cuando entran en contacto con el disco es de mucha importancia, ya que lo más conveniente es que sean silenciosas para transitar sin ruidos.

En nuestra investigación se escogieron 2 variables que fueron consideradas las más importantes, y las que podemos evaluar y manejar con la tecnología que poseemos en la universidad.

Las dos variables son: tasa de desgaste como torque.

Estas dos variables las podemos medir con la ayuda de la máquina AMSLER que sirve para ensayos de desgaste de aceros y otros materiales.

### **3.2. DISEÑO DEL MOLDE**

El molde que se usó para la elaboración de las probetas está formado por 4 partes como se muestra a continuación.

- Placa base
- El eje central
- El bastidor o hembra
- El pistón o macho

El pistón está diseñado con 3 ranuras en sus paredes para que escape el aire que se encuentra en la cámara cuando se comprima la mezcla. Además, el eje interior está diseñado para que sea fácilmente desmoldeable debido a su conicidad en una parte de su sección.

El material usado para el molde es de acero, AISI 1018 para la placa base y para el bastidor, y A36 para el eje y el pistón.

La tecnología del molde es básica, sirve para un diseño experimental como el nuestro, se ha regido por las especificaciones de la máquina de ensayo de desgaste y ha sido netamente elaborado con el fin de ser usado en dicha máquina.

### 3.4. MÉTODO DE OBTENCIÓN DE LAS FIBRAS

La fibra de la cáscara de plátano se obtuvo de desechos y el proceso de secado duró aproximadamente 2 semanas debido a su grado alto de humedad hasta obtener una humedad de 5%.



**Figura 26:** Fibra de la cáscara de plátano durante 1 día de secado



**Figura 27:** Fibra de la cáscara de plátano durante 2 semanas de secado  
La fibra de coco también se obtuvo de igual manera de desechos, y se secó aproximadamente 3 días hasta obtener una humedad de 5%.



**Figura 28:** Fibra de coco en proceso de secado

El raquis de la palma africana se obtuvo en la provincia de Pastaza, en la ciudad de El Coca. El raquis de la palma africana, se tuvo que cortar y separar y luego secar aproximadamente 3 días hasta obtener una humedad del 5%.

El cuesco de la palma africana se obtuvo en la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas. De igual manera, una vez que las palmicultoras extraen el aceite, se convierte en desecho.



**Figura 29:** Cuesco de palma africana seco

Para el proceso de trituración se usó un tubo circular y un cilindro compacto y con la ayuda de una prensa se obtuvo partículas de cuesco de aproximadamente 0,5 mm de diámetro.



**Figura 30:** Cuesco de palma africana en partículas

### **3.5. MÉTODO DE ELABORACIÓN DE LA PASTILLA**

Para la elaboración de una pastilla o probeta se deben mezclar los distintos componentes que forman parte de las probetas. Es decir, se mezcla en un recipiente resina fenólica en polvo, carbón en polvo, arena sílice, y partículas del

cuesco de palma, de acuerdo al porcentaje establecido y con la ayuda de una balanza calibrada.



**Figura 31:** Recipiente con algunos componentes de la pastilla

De la misma manera para obtener el carbón en polvo, se compró carbón vegetal en piedras y se trituroó con la ayuda de un costal y un mazo. Después de esto se cernía en coladeras hasta obtener partículas con un diámetro de 0,1 a 0,3 mm. El molde se colocó sobre una placa más grande de acero, propia de la prensa.

Además se usaron prensas de sujeción, para evitar que la mezcla una vez disuelta y comprimida escape por las paredes internas del molde.

Las fibras de coco y palma se añaden poco a poco conforme se agrega la mezcla dentro del molde. Se coloca aceite en la base del molde para evitar que la mezcla una vez comprimida se pegue en el disco base.

Una vez colocada la mezcla dentro del molde, se suministra calor a las paredes del molde con un soplete hasta que las paredes alcancen una temperatura entre 100°C y 150°C, la misma que será medida con la ayuda de un termopar.

Este proceso se lo hace debido a que la resina fenólica posee un componente llamado hexamina cuya propiedad es el endurecimiento, es por esto que con el calor suministrado todos los componentes se unen.

El tiempo que se suministra calor a la probeta es de aproximadamente 1,5 minutos y debe alcanzar una temperatura de aproximadamente 130°C con un tiempo de prensado de 10 minutos aproximadamente.



**Figura 32:** Aplicación de calor al molde con la ayuda de un soplete



**Figura 33:** Prensado de la mezcla dentro del molde

Cada vez que se desee elaborar una probeta se debe desmontar, quitar los componentes del molde, enfriar y limpiar para continuar elaborando otras.



**Figura 34:** Probeta o pastilla desmoldada

El tiempo de fabricación desde que se mezclan los componentes hasta que se fabrica la pastilla, se desmolda la misma y se limpia el molde es de aproximadamente 25 minutos.

### 3.6. COMPOSICIÓN DE LA PASTILLA

Se desarrolló una primera fase fue exploratoria, las pastillas fueron fabricadas utilizando solamente resina fenólica y polvo de carbón vegetal para conocer el comportamiento de los materiales sin fibras.

Se utilizaron las composiciones mostradas en la Tabla 2.

**Tabla 2:**

Composición de las probetas en la primera fase exploratoria

COMPOSICIÓN DE LA PASTILLA - % Peso				
% Resina	% Carbón	% Fibra	% Partículas	% Arena Sílice
<b>30</b>	40	0	30	0
<b>35</b>	35	0	30	0
<b>40</b>	30	0	30	0
<b>45</b>	25	0	30	0

Se observó que las pastillas fabricadas con resina y el carbón no se mantienen sólidas una vez sometidas al ensayo de desgaste. La carga aplicada fue de 1,5 kg y la carga de prensado fue de 1 tonelada. Las pastillas tenían un peso de 12 a 14 gramos.

Luego de la primera fase, se usó fibra de coco para ver el comportamiento de las pastillas, se realizaron diferentes fases para ahorrar tiempo y dinero en la fabricación de las pastillas finales que se espera que brinden buenas propiedades mecánicas.

En la segunda fase exploratoria, se elaboraron pastillas con las siguientes composiciones:

**Tabla 3:**

Composición de las probetas en la segunda fase exploratoria.

COMPOSICIÓN DE LA PASTILLA - % Peso				
% Resina	% Carbón	% Fibra de coco	% Partículas	% Arena Sílice
40	30	15	0	15

COMPOSICIÓN DE LA PASTILLA - % Peso				
% Resina	% Carbón	% Fibra de coco	% Partículas	% Arena Sílice
44,44	27,77	16,66	0	11,11

COMPOSICIÓN DE LA PASTILLA - % Peso				
% Resina	% Carbón	% Fibra de coco	% Partículas	% Arena Sílice
47,05	23,53	17,65	0	11,76

COMPOSICIÓN DE LA PASTILLA - % Peso				
% Resina	% Carbón	% Fibra de coco	% Partículas	% Arena Sílice
50	25	18,75	0	6,25

COMPOSICIÓN DE LA PASTILLA - % Peso				
% Resina	% Carbón	% Fibra de coco	% Partículas	% Arena Sílice
52,3	23,53	17,64	0	5,88

Fuente: (Amsler, 1968)

A toda la mezcla se añadió un porcentaje de arena sílice ya que sin este componente es muy difícil el desmoldeo. De igual manera la carga de prensado que se usó fue de 1 ton.

En estas composiciones se usó fibra de coco y fibra de cáscara de plátano, pero la fibra de plátano no permitía la extracción y no poseían resistencia alguna al ser sometidas al ensayo de desgaste, después de esto se desechó el uso de esta fibra en la continuación de la investigación.

La fibra de coco sirvió para que no se parta ni se fisure la probeta una vez sometidas al ensayo de desgaste.

En los ensayos posteriores no se usó la fibra de cáscara de plátano. Se fabricaron dos pastillas de cada composición, es decir un total de 10.

En la tercera fase se hicieron probetas que tengan fibra de coco y otras fibra de palma, además de partículas de cuesco de la palma que sirve como elemento frenante. Arena sílice para su fácil desmoldeo y una carga de prensado de 6 toneladas para una mayor compactación de la mezcla.

En ésta fase, se elaboraron 12 pastillas, 6 con fibra de coco y 6 con fibra de palma, ambos con partículas de cuesco. La composición de las probetas fue la siguiente:

**Tabla 4:**

Composición de las probetas en la tercera fase.

<b>COMPOSICIÓN DE LA PASTILLA - % Peso</b>				
<b>% Resina</b>	<b>% Carbón</b>	<b>% Fibra</b>	<b>% Partículas</b>	<b>% Arena Sílice</b>
40	30	5	15	10

Fuente: (Amsler, 1968)

En la fase final se hicieron probetas que tengan fibra de coco y otras, fibra de palma como en la tercera fase, de igual manera partículas de cuesco de la palma que sirve como elemento frenante, pero se varió la composición de resina y carbón.

La composición de las probetas de esta fase fueron las siguientes:

**Tabla 5:**

Composición química de las probetas en la fase final.

<b>COMPOSICIÓN DE LA PASTILLA - % Peso</b>				
<b>% Resina</b>	<b>% Carbón</b>	<b>% Fibra</b>	<b>% Partículas</b>	<b>% Arena Sílice</b>
45	25	5	15	10

Fuente: (Amsler, 1968)

Para poder comparar nuestros datos obtenidos con datos reales, se maquinó una plancha de pastilla de freno semimetálica comercial para obtener probetas de la misma geometría de las pastillas de nuestra investigación.



**Figura 35:** Plancha de pastilla de freno semimetálica.



**Figura 36:** Pastilla de freno semimetálica con geometría para realizar el ensayo de desgaste.

## CAPÍTULO 4

### 4. ENSAYOS Y OBTENCIÓN DE DATOS

#### 4.1. ENSAYO DE DESGASTE

La máquina que se usó es la máquina AMSLER A135 para desgaste de metales y otros materiales.

Esta máquina permite hacer mediciones de torque, y de cantidad de desgaste para varias configuraciones de ensayo es decir:

- Ensayo de desgaste por rodadura: Ambas probetas giran en sentido contrario.
- Ensayo de desgaste por deslizamiento: El eje superior se mantiene fijo, el inferior gira.
- Ensayo de desgaste especial: Ambas probetas giran en igual sentido.



**Figura 37:** Máquina AMSLER del Laboratorio de Mecánica de Materiales

El funcionamiento de la máquina consiste en que un motor eléctrico transmite movimiento al eje inferior, este eje está conectado directamente a una

caja de engranes que transmite movimiento al eje superior, en nuestro caso se colocó un pasador en uno de los engranes, para mantener fijo el eje superior y realizar el ensayo de desgaste por deslizamiento.

Las principales partes de la máquina son:

- Resorte: Esta junto con un tornillo que a medida que éste se ajusta va aumentando o disminuyendo la carga aplicada a la pastilla.
- Péndulo: Ubicado en la parte inferior de la máquina, gracias a éste podemos medir el torque en diferentes escalas dependiendo el peso que se cargue. (Ver tabla 6)
- Dinamómetro o Medidor de torque: Ubicado en la parte superior de la máquina, permite medir el torque presente en un rango entre 0 a 150 kg.cm.



**Figura 38:** Dinamómetro

- Ejes: Eje superior e inferior, en el eje superior debe colocarse la probeta de un material más duro de la que se vaya a ensayar, en este caso usamos probetas de acero y en el eje inferior las probetas fabricadas.
- Graficador de torque: Grafica el torque aplicado a las probetas.

Para calibrar la máquina se debe colocar el contrapeso, y que el marcador de la carga aplicada se encuentre en cero, y que la distancia entre la probeta de acero que está en el eje superior y la probeta de material compuesto que está en la parte inferior sea menor a 1mm.

El rango de medida del torque de la probeta sometida a desgaste se debe relacionar con la siguiente tabla:

**Tabla 6:**

Rango de medición del torque

Rango de medición requerido	Número de pesas en el péndulo	Designación de pesas en el péndulo
10 [cm.kg]	0	.....
50 [cm.kg]	1	50, 100, 150 [cm.kg]
100 [cm.kg]	2	50, 100, 150 [cm.kg] 100, 150 [cm.kg]
150 [cm.kg]	3	50, 100, 150 [cm.kg] 100, 150 [cm.kg] 150 [cm.kg]

Fuente: (Amsler, 1968)

Por ejemplo, para un torque de 80 [cm.kg] se debe usar la escala de 100 [cm.kg] y no la de 150 [cm.kg] y se deben usar 2 pesas en el péndulo.

Los pesos que van colocados en el péndulo se muestran en la siguiente gráfica:



**Figura 39:** Pesos del péndulo

La probeta fabricada deberá colocarse de la siguiente manera:



**Figura 40:** Pastilla de freno semimetálica comercial montada en la máquina Amsler.

Una vez establecidas la composiciones de las pastillas, se fabrican las mismas y una a una se montan en el eje propio de la máquina, las pastillas serán sometidas a desgaste por deslizamiento.

Para poder hacer una comparación se debe someter al mismo tiempo y carga las diferentes pastillas.

La primera fase de las pastillas tuvo la composición mencionada en la tabla 2. Pero los resultados obtenidos fue que se partieron una vez sometidas a una carga mínima de 1,5 kg.

Es por ello que se añadió fibras tanto de coco como de palma en la composición y se descartó las partículas del cuesco de palma. Además, en esta fase se fabricaron las probetas con una carga de prensado de 1 ton. La carga aplicada a las probetas fue de 1,5 kg.



**Figura 41:** Probeta fabricada con resina fenólica y polvo de carbón.

La segunda fase de las pastillas tuvo la siguiente composición, y los resultados fueron los siguientes:

**Tabla 7:**

Datos obtenidos de las pastillas en la segunda fase

COMPOSICIÓN DE LA PASTILLA - % Peso				
% Resina	% Carbón	% Fibra de coco	% Partículas	% Arena Sílice
40	30	15	0	15

ENSAYO DE DESGASTE POR DESLIZAMIENTO CON FIBRA DE COCO									
Número de probeta	Diametro inicial (mm)	Diametro final (mm)	Tiempo (min)	Carga (kg)	Di-Df (mm)	Tasa de desgaste (mm/min)	Torque (Kg.cm)	Torque (Kg.cm)	Torque (N.m)
1	40,67	38,05	0,2	1,5	2,62	13,1	0	0	0
2	40,67	37,97	0,2	1,5	2,7	13,5	0	0	0

COMPOSICIÓN DE LA PASTILLA - % Peso				
% Resina	% Carbón	% Fibra de coco	% Partículas	% Arena Sílice
44,44	27,77	16,66	0	11,11

ENSAYO DE DESGASTE POR DESLIZAMIENTO CON FIBRA DE COCO									
Número de	Diametro inicial	Diametro final	Tiempo (min)	Carga (kg)	Di-Df (mm)	Tasa de desgaste	Torque (Kg.cm)	Torque (Kg.cm)	Torque (N.m)
1	40,67	37,98	0,2	1,5	2,69	13,45	0	0	0
2	40,67	38,12	0,2	1,5	2,55	12,75	0	0	0

COMPOSICIÓN DE LA PASTILLA - % Peso				
% Resina	% Carbón	% Fibra de coco	% Partículas	% Arena Sílice
47,05	23,53	17,65	0	11,76

ENSAYO DE DESGASTE POR DESLIZAMIENTO CON FIBRA DE COCO									
Número de probeta	Diametro inicial (mm)	Diametro final (mm)	Tiempo (min)	Carga (kg)	Di-Df (mm)	Tasa de desgaste (mm/min)	Torque (Kg.cm)	Torque (Kg.cm)	Torque (N.m)
1	40,67	39,16	0,2	1,5	1,51	7,55	0	0	0
2	40,67	39,22	0,2	1,5	1,45	7,25	0	0	0

COMPOSICIÓN DE LA PASTILLA - % Peso				
% Resina	% Carbón	% Fibra de coco	% Partículas	% Arena Sílice
50	25	18,75	0	6,25

ENSAYO DE DESGASTE POR DESLIZAMIENTO CON FIBRA DE COCO									
Número de probeta	Diametro inicial (mm)	Diametro final (mm)	Tiempo (min)	Carga (kg)	Di-Df (mm)	Tasa de desgaste (mm/min)	Torque (Kg.cm)	Torque (Kg.cm)	Torque (N.m)
1	40,67	39,35	0,2	1,5	1,32	6,6	0	0	0
2	40,67	falló	0,2	1,5					

COMPOSICIÓN DE LA PASTILLA - % Peso				
% Resina	% Carbón	% Fibra de coco	% Partículas	% Arena Sílice
52,3	23,53	17,64	0	5,88

ENSAYO DE DESGASTE POR DESLIZAMIENTO CON FIBRA DE COCO									
Número de	Diametro inicial	Diametro final	Tiempo (min)	Carga (kg)	Di-Df (mm)	Tasa de desgaste	Torque (Kg.cm)	Torque (Kg.cm)	Torque (N.m)
1	40,67	39,76	0,2	1,5	0,91	4,55	0	0	0
2	40,67	falló	0,2	1,5					

Fuente: (Amsler, 1968)

Para la tercera fase se obtuvieron los siguientes resultados:

**Tabla 8:**

Datos obtenidos de las pastillas en la tercera fase

ENSAYO DE DESGASTE POR DESLIZAMIENTO CON FIBRA DE COCO									
Número de	Diametro inicial	Diametro final	Tiempo (min)	Carga (kg)	Di-Df (mm)	Tasa de desgaste	Torque (Kg.cm)	Torque (Kg.cm)	Torque (N.m)
1	40,57	39,3	1,5	1,5	1,27	0,85	1,5	7,5	0,74
2	40,68	39,52	1,5	1,5	1,16	0,77	1,9	9,5	0,93
3	40,67	39,21	1,5	1,5	1,46	0,97	1,7	8,5	0,83
4	40,6	38,92	1,5	1,5	1,68	1,12	1,7	8,5	0,83
5	40,45	39,42	1,5	1,5	1,03	0,69	1,9	9,5	0,93
6	40,67	39,29	1,5	1,5	1,38	0,92	1,7	8,5	0,83

Fuente: (Amsler, 1968)

ENSAYO DE DESGASTE POR DESLIZAMIENTO CON FIBRA DE PALMA									
Número de	Diametro inicial	Diametro final	Tiempo (min)	Carga (kg)	Di-Df (mm)	Tasa de desgaste	Torque (Kg.cm)	Torque (Kg.cm)	Torque (N.m)
1	40,69	39,96	1,5	1,5	0,73	0,49	2,1	10,5	1,03
2	40,67	39,52	1,5	1,5	1,15	0,77	1,9	9,5	0,93
3	40,73	39,54	1,5	1,5	1,19	0,79	1,9	9,5	0,93
4	40,58	39,33	1,5	1,5	1,25	0,83	2	10	0,98
5	40,62	39,42	1,5	1,5	1,2	0,80	1,9	9,5	0,93
6	40,48	39,18	1,5	1,5	1,3	0,87	2	10	0,98

Fuente: (Amsler, 1968)

Debido a la carga de prensado de 6 ton se compactaron de mejor manera las probetas, aunque se tenía una limitación en cuanto a la cantidad de resina máxima que se podía poner dentro de la mezcla, ya que existieron problemas de desmoldeo debido a que cuando se sometía a calor y se prensaba, se escapaba por las paredes del molde por más sujeción que se aplique. El carácter experimental de nuestro molde y la aplicación de calor no permitió disminuir las holguras para evitar las fugas.

La cantidad de resina máxima a la que se pudo trabajar por problemas tecnológicos fue %45 de resina fenólica.

Con la cantidad máxima de resina posible, la fase final obtuvo los siguientes datos:

**Tabla 9:**

Datos obtenidos de las pastillas en la fase final

ENSAYO DE DESGASTE POR DESLIZAMIENTO CON FIBRA DE COCO									
Número de	Diametro inicial	Diametro final	Tiempo (min)	Carga (kg)	Di-Df (mm)	Tasa de desgaste	Torque (Kg.cm)	Torque (Kg.cm)	Torque (N.m)
1	40,51	39,6	1,5	1,5	0,91	0,61	2	10	0,98
2	40,67	39,78	1,5	1,5	0,89	0,59	2,1	10,5	1,03
3	40,62	39,48	1,5	1,5	1,14	0,76	2	10	0,98
4	40,65	39,56	1,5	1,5	1,09	0,73	2	10	0,98
5	40,67	39,6	1,5	1,5	1,07	0,71	1,9	9,5	0,93
6	40,62	39,72	1,5	1,5	0,9	0,60	1,9	9,5	0,93

Fuente: (Amsler, 1968)

ENSAYO DE DESGASTE POR DESLIZAMIENTO CON FIBRA DE PALMA									
Número de	Diametro inicial	Diametro final	Tiempo (min)	Carga (kg)	Di-Df (mm)	Tasa de desgaste	Torque (Kg.cm)	Torque (Kg.cm)	Torque (N.m)
1	40,73	40,39	1,5	1,5	0,34	0,23	2,8	14	1,37
2	40,68	39,92	1,5	1,5	0,76	0,51	2,7	13,5	1,32
3	40,67	39,89	1,5	1,5	0,78	0,52	2,5	12,5	1,23
4	40,71	39,91	1,5	1,5	0,8	0,53	2,5	12,5	1,23
5	40,73	39,69	1,5	1,5	1,04	0,69	2,7	13,5	1,32
6	40,61	39,47	1,5	1,5	1,14	0,76	2,6	13	1,27

Fuente: (Amsler, 1968)

Es decir que con mayor cantidad de resina se obtuvo menor desgaste y mayor torque lo cual es óptimo en la investigación.

Para las pastillas semimetálicas se sometió al mismo ensayo con las mismas características y se obtuvieron los siguientes datos.

**Tabla 10:**

Datos obtenidos con las pastillas de freno semi-metálicas comerciales.

ENSAYO DE DESGASTE POR DESLIZAMIENTO CON PASTILLA DE FRENO SEMI METÁLICA - CARBÓN									
Número de	Diametro inicial	Diametro final	Tiempo (min)	Carga (kg)	Di-Df (mm)	Tasa de desgaste	Torque (Kg.cm)	Torque (Kg.cm)	Torque (N.m)
1	40,94	40,59	1,5	1,5	0,35	0,23	4,7	23,5	2,30
2	40,98	40,66	1,5	1,5	0,32	0,21	4,8	24	2,35
3	41,15	40,76	1,5	1,5	0,39	0,26	4,5	22,5	2,21
4	41,08	40,85	1,5	1,5	0,23	0,15	4,9	24,5	2,40
5	41,1	40,72	1,5	1,5	0,38	0,25	4,8	24	2,35
6	41,02	40,86	1,5	1,5	0,16	0,11	4,9	24,5	2,40

Fuente: (Amsler, 1968)

## CAPÍTULO 5

### 5. RESULTADOS

#### 5.1. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Una vez obtenidos los resultados, se procedió a analizar los mismos partiendo de un análisis de regresión multivariable. Para conocer el comportamiento y cómo influye cada componente en los resultados de cada pastilla.

Escogimos dos relaciones entre nuestras 5 variables y estas fueron las siguientes:

- Primera relación: Resina – Fibra ; R/F
- Segunda relación: Resina – Arena sílice ; R/As

El análisis de regresión multivariable se realizó para el primer grupo de datos debido a que es el más importante ya que desde ahí surgieron las demás composiciones.

#### Tabla 11:

Grupo de datos de la fase 2

% Resina	% Carbón	% Fibra	% Arena Sílice	% Partículas	Tasa de desgaste (mm/min)
40	30	15	15	0	13,1
40	30	15	15	0	13,5
44,44	27,77	16,66	11,11	0	13,45
44,44	27,77	16,66	11,11	0	12,75
47,05	23,53	17,65	11,76	0	7,55
47,05	23,53	17,65	11,76	0	7,25
50	25	18,75	6,25	0	6,6
52,3	23,53	17,64	5,88	0	4,55

Y con las relaciones establecidas, la tabla de datos previa al análisis de regresión fue:

**Tabla 12:**

Tabla de relaciones previa al análisis de regresión multivariable

R/F	R/AS	Tasa de desgaste (mm/min)
2,66666667	2,66666667	13,1
2,66666667	2,66666667	13,5
2,66746699	4	13,45
2,66746699	4	12,75
2,66572238	4,00085034	7,55
2,66572238	4,00085034	7,25
2,66666667	8	6,6
2,96485261	8,89455782	4,55

Se escogió estas dos relaciones debido a que, la resina es la matriz, las fibras lo que mantiene unido los componentes y la arena sílice que es indispensable principalmente para el desmoldeo. El carbón es muy importante de igual manera pero incluso se podría sustituir por otro material.

**Tabla 13:**

Resultados regresión segunda fase

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,79010546
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0,624266638
R <sup>2</sup> ajustado	0,473973293
Error típico	2,685305074
Observaciones	8
<b>ANÁLISIS DE VARIANZA</b>	
	<i>Grados de libertad</i>
Regresión	2
Residuos	5
Total	7
	<i>Coefficientes</i>
Intercepción	18,50257071
R/F	-1,062882607
R/AS	-1,21055716

Fuente: (Amsler, 1968)

El análisis de regresión para nuestro caso viene dado por la fórmula:

$$Y = a + b.x1 + c.x2$$

En donde Y es la variable independiente, x1 y x2 las dependientes.

$$Y = \text{Tasa de desgaste}$$

$$X1 = \text{Relación resina - fibra}$$

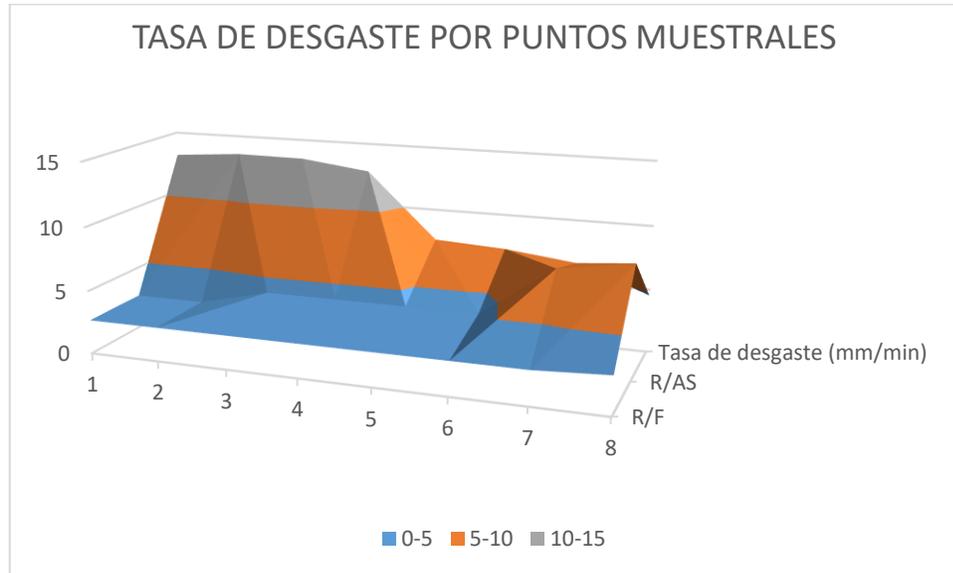
$$X2 = \text{Relación resina - arena sílice}$$

La fórmula que describe la regresión sería:

$$Y = 18,5025 - 1,062 * X1 - 1,21 * X2$$

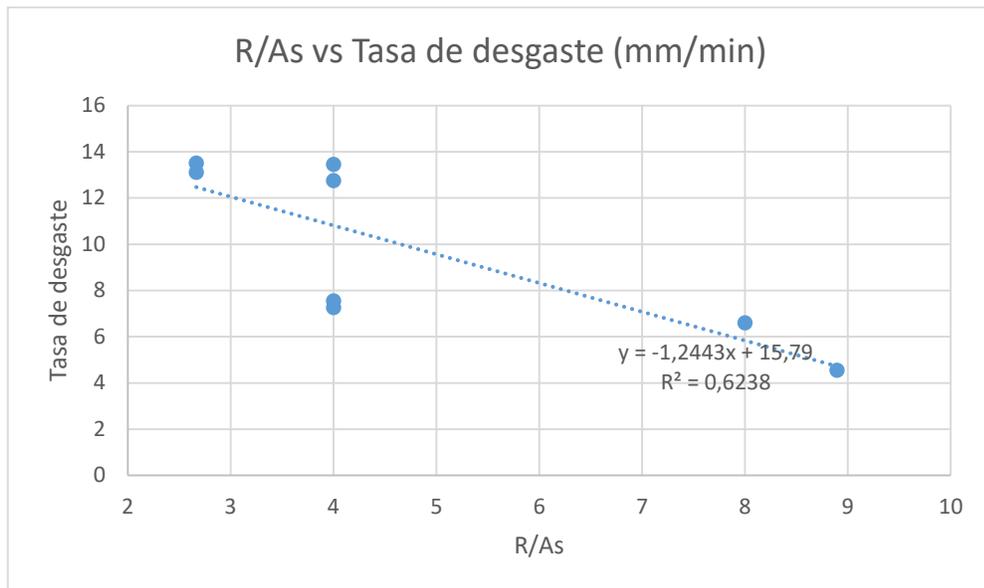
Podemos observar que ambos coeficientes son negativos, lo que nos indica que mientras la relación aumente, disminuirá el desgaste, lo cual es lo que se busca.

En un gráfico tridimensional se puede ver la tasa de desgaste por puntos muestrales y brinda los valores de las variables para cada caso:

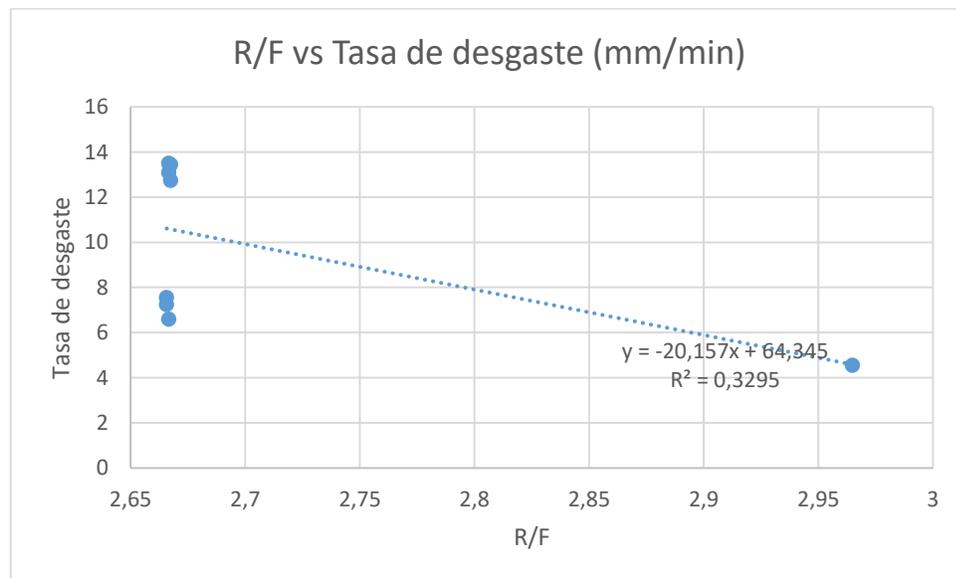


**Figura 42:** Gráfica tridimensional de la tasa de desgaste por puntos muestrales

Para observar de mejor manera se pueden realizar dos gráficos de dispersión con cada relación R/F y R/As vs Tasa de desgaste.



**Figura 43:** Gráfico de dispersión R/As vs Tasa de desgaste.



**Figura 44:** Gráfico de dispersión R/F vs Tasa de desgaste

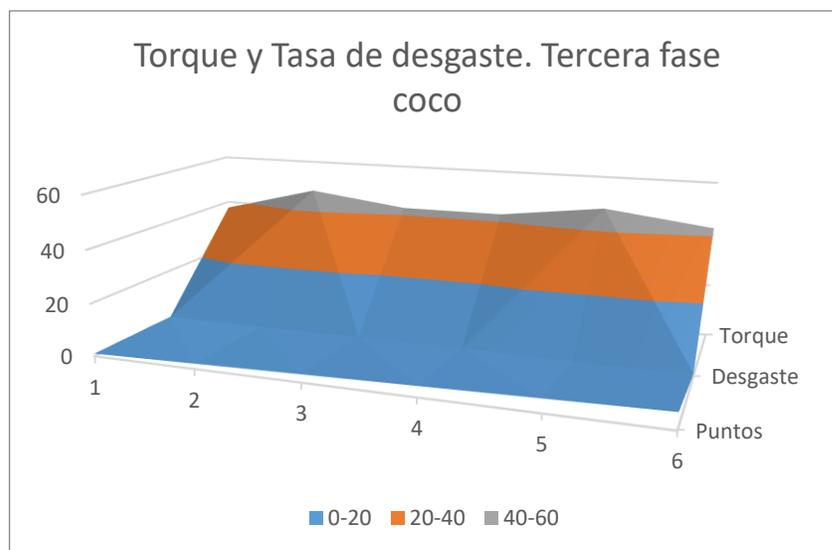
En donde podemos ver que la relación que más predomina es la relación R/As. Ambas gráficas poseen pendiente negativa, por lo cual se afirma una vez

más que mientras disminuya la cantidad de desgaste, aumentará el torque obtenido. Es decir, que las composiciones recomendadas sirven de base para un estudio más profundo de un material compuesto como constituyente de freno.

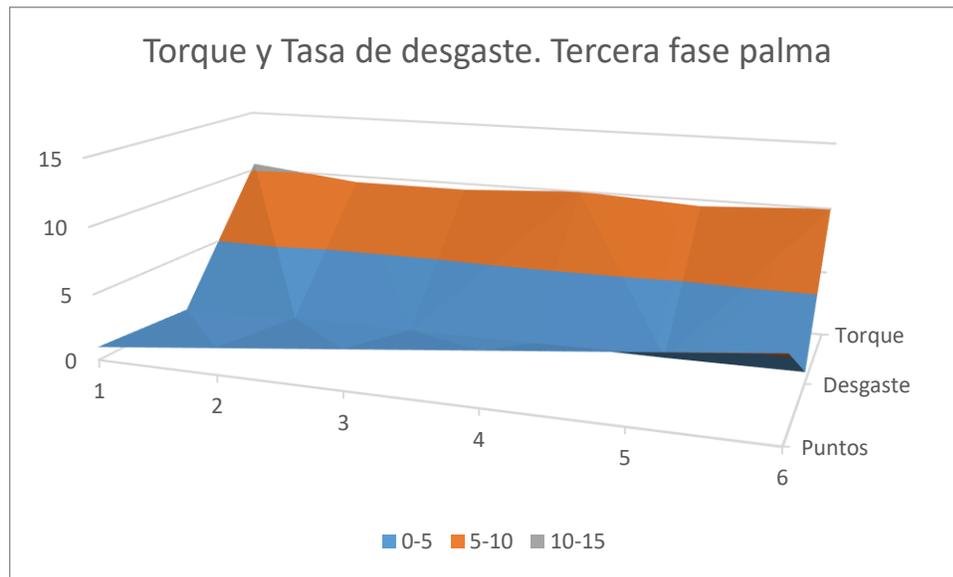
Una vez realizado el análisis de regresión de la fase 2, se procedió a plantear las composiciones de la fase 3, basándonos en la tendencia de incremento de las propiedades buscadas: elevado torque y bajo desgaste.

Se realizó un análisis cuantitativo en las dos fases finales donde se puede ver la mejor composición, comparado con la pastilla semimetálica comercial.

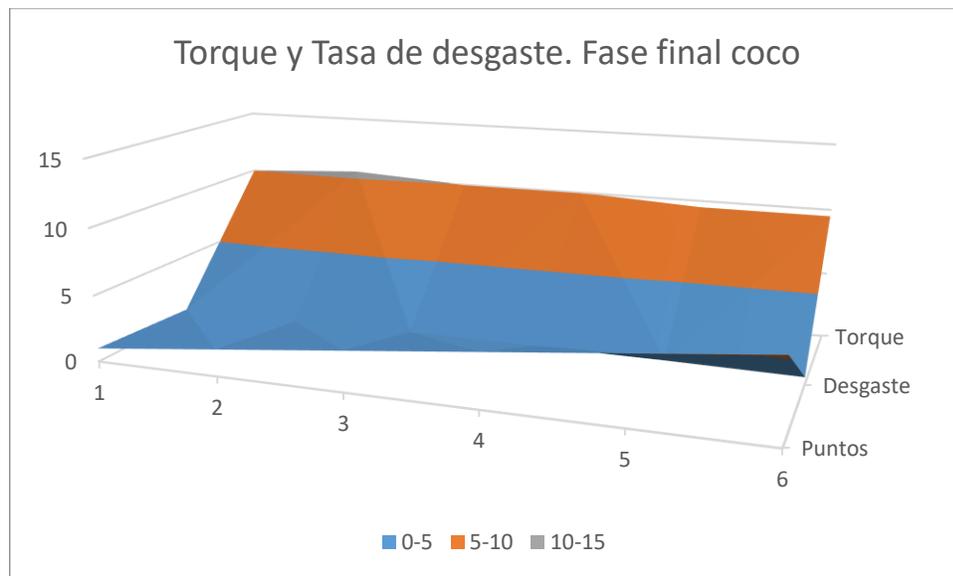
En un gráfico tridimensional se puede ver la tasa de desgaste por puntos muestrales y el torque aplicado a las probetas.



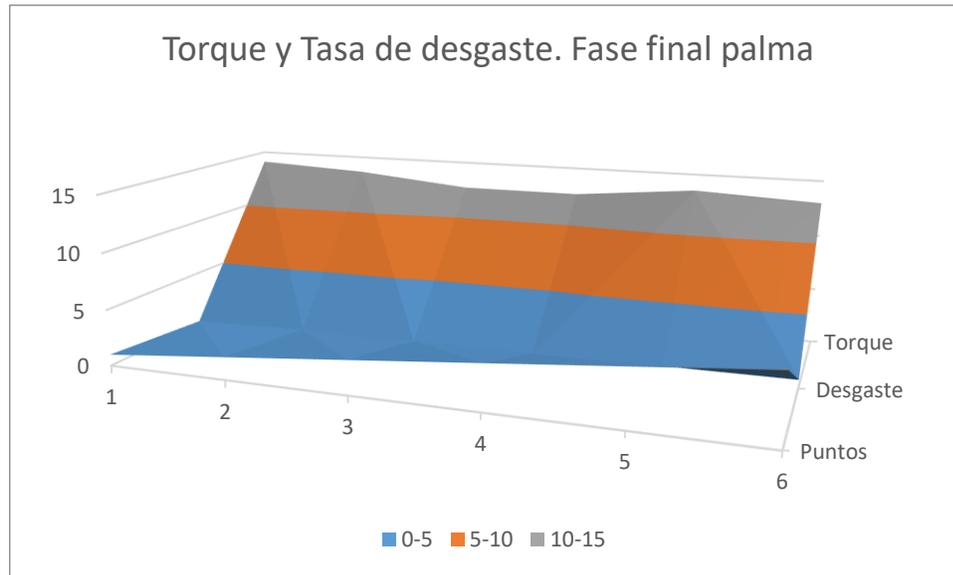
**Figura 45:** Gráfica tridimensional. Torque y tasa de desgaste, tercera fase coco



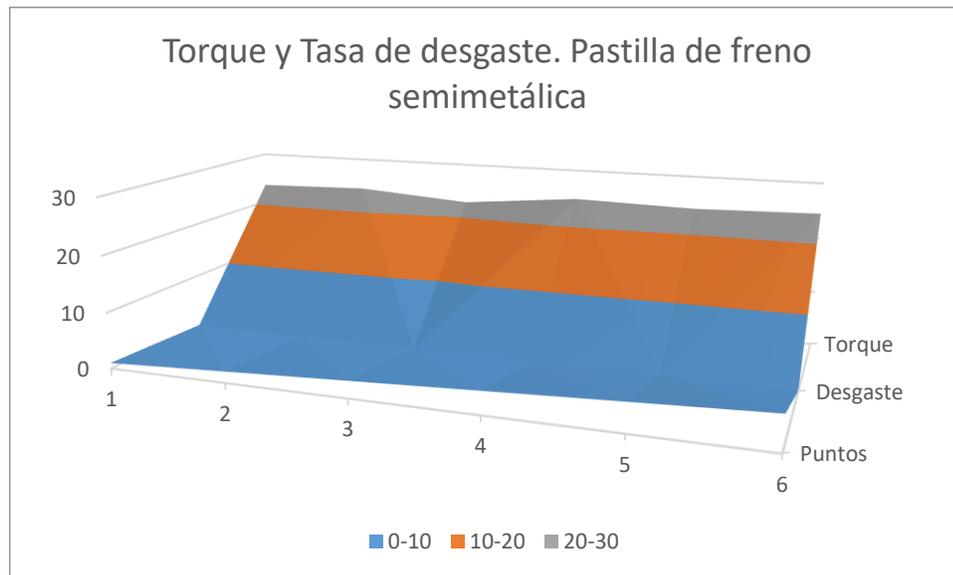
**Figura 46:** Gráfica tridimensional. Torque y tasa de desgaste, Tercera fase palma



**Figura 47:** Gráfica tridimensional. Torque y tasa de desgaste, Fase final coco



**Figura 48:** Gráfica tridimensional. Torque y tasa de desgaste, Fase final palma



**Figura 49:** Gráfica tridimensional. Torque y tasa de desgaste, Pastilla semimetálica comercial

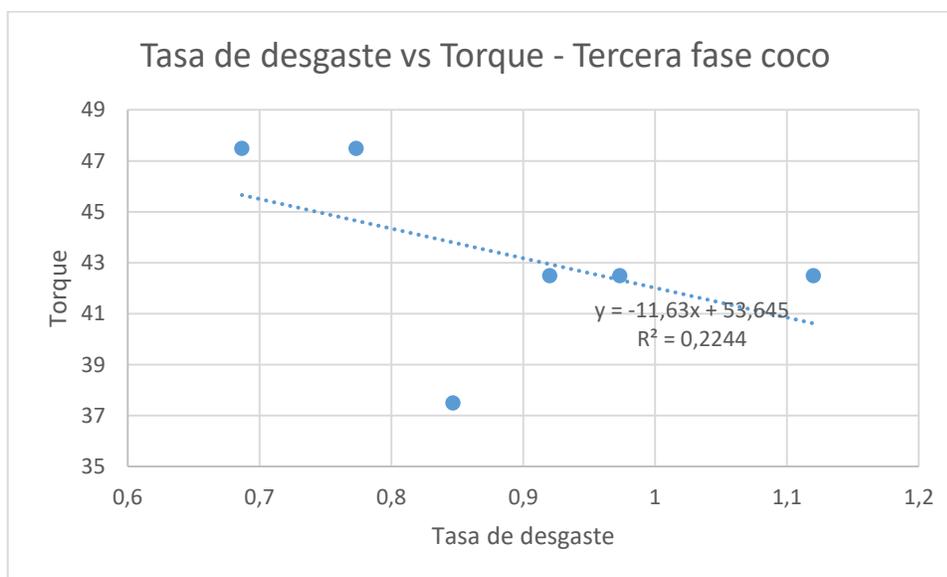
Las ecuaciones de la regresión lineal entre tasa de desgaste y torque obtenido fueron:

**Tabla 14:**

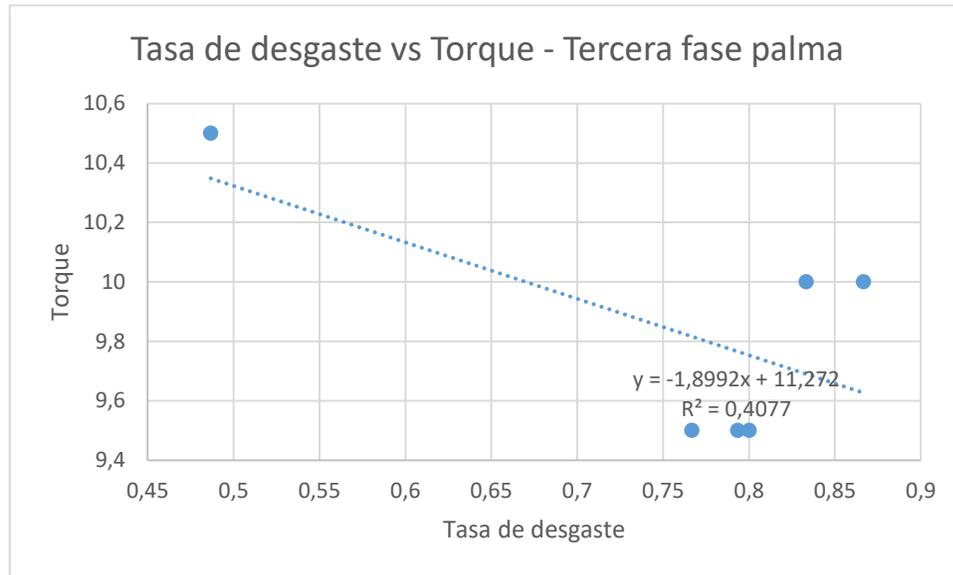
Ecuaciones de regresión lineal entre tasa de desgaste y torque obtenido

Analisis de regresion	Ecuación
Tercera fase coco	TORQUE=10,729-2,326*DESGASTE
Tercera fase palma	TORQUE=11,272-1,8991*DESGASTE
Fase final coco	TORQUE=10,553-0,9554*DESGASTE
Fase final palma	TORQUE=13,921-1,398*DESGASTE
Pastilla semimetalica comercial	TORQUE=5,1465-1,868*DESGASTE

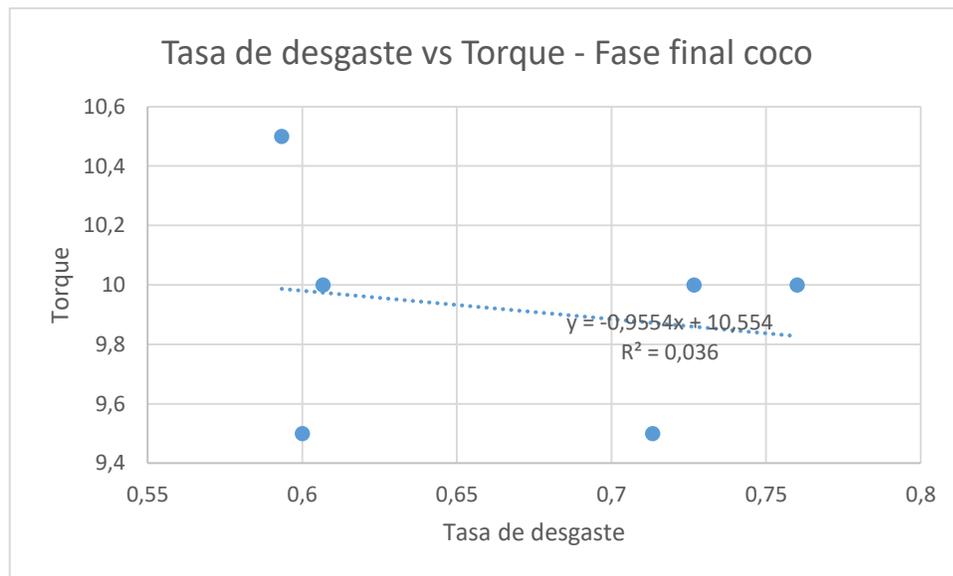
Como se puede ver, todos los coeficientes que multiplican a las variables son negativos, lo cual afirma que en este caso mientras disminuye la cantidad de desgaste aumenta la cantidad del torque obtenido, esto se puede apreciar de mejor manera con un gráfico de dispersión entre tasa de desgaste y torque que se muestra a continuación:



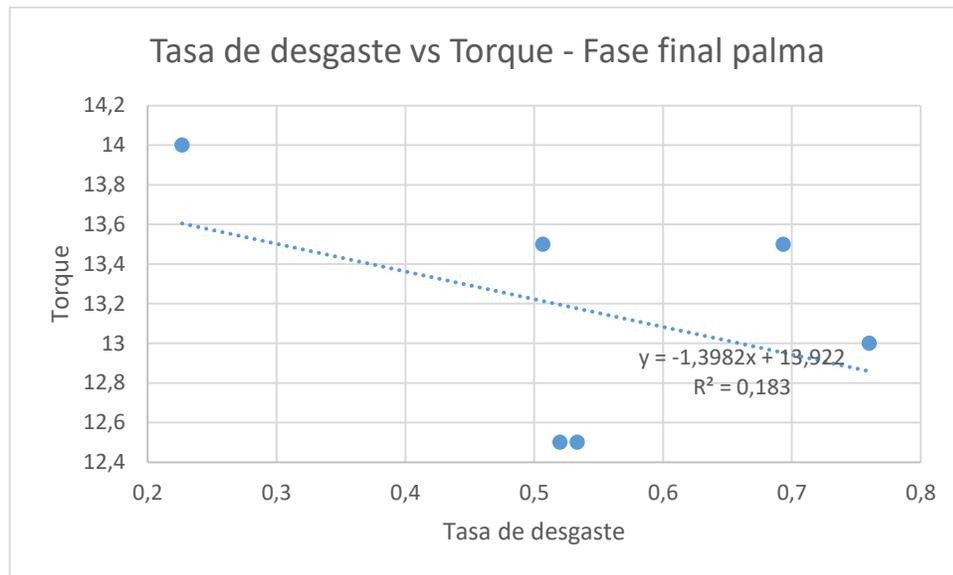
**Figura 50:** Gráfica de dispersión entre Tasa de desgaste y torque, para la tercera fase de coco.



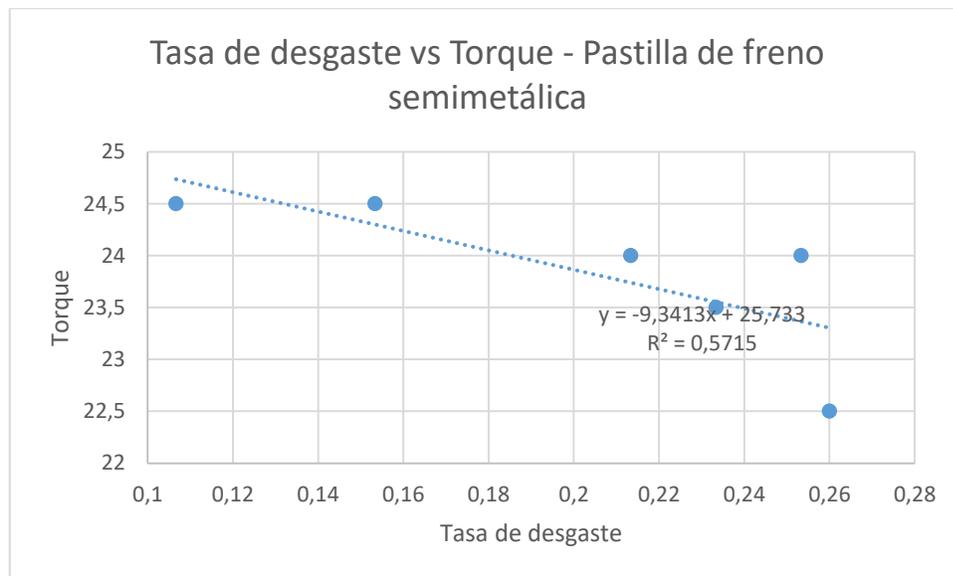
**Figura 51:** Gráfica de dispersión entre Tasa de desgaste y torque, para la tercera fase de palma.



**Figura 52:** Gráfica de dispersión entre Tasa de desgaste y torque, para la fase final de coco.



**Figura 53:** Gráfica de dispersión entre Tasa de desgaste y torque, para la fase final de palma.



**Figura 54:** Gráfica de dispersión entre Tasa de desgaste y torque, para la pastilla de freno semimetálica.

## CAPÍTULO 6

### 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 6.1. CONCLUSIONES

- Los resultados obtenidos muestran que es factible el uso de fibras naturales para fabricar pastillas de freno. Las propiedades mecánicas de las pastillas fabricadas alcanzaron alrededor de un 50% de las propiedades de una pastilla semimetálica comercial. La mejor composición fue: 45% resina fenólica, 25% carbón, 15% partículas de cuesco de palma, 5% fibra de palma, 10% arena sílice.
- El compuesto con fibra de palma alcanzó las mejores propiedades mecánicas, seguido de la fibra de coco; la fibra de cáscara de plátano se desechó en un inicio debido a que poseía muy baja resistencia.
- Las partículas del cuesco de palma africana demostraron su beneficio como elemento frenante ya que se obtuvieron mejores resultados agregando este componente a la composición de las pastillas. Además, las fibras sirvieron como sujeción para todos los componentes.
- El método y la tecnología de fabricación empleados fueron factibles aunque ésta última se vio limitada cuando se quiso aumentar el porcentaje de resina. El aumento de resina fenólica en las composiciones de las pastillas mejora los resultados finales ya que mientras más resina haya menor cantidad de desgaste y mayor cantidad de torque.

## 6.2. RECOMENDACIONES

- Cabe recalcar que las pastillas comerciales o profesionales poseen en su formulación más de 30 componentes, es por ello que la investigación debe continuarse, buscando mejorar las propiedades mecánicas mediante la adición de otros materiales como: óxido de aluminio, polvo metálico, grafito, aramida, etc.
- Para poder fabricar pastillas con un alto contenido de resina se debe mejorar el diseño del molde y el sistema de prensado en caliente para permitir el uso de mayores presiones. Además, todos los componentes presentes, deben estar en un estado seco, es decir sin humedad para que no existan porosidades cuando se fabriquen las pastillas.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- Ali, M. (28 de Junio de 2010). Coconut fiber. pág. 12.
- Amsler, A. J. (1968). Amsler Wear Testing Machine for Metals. Schaffhausen.
- Billmeyer, F. (2017). Ciencia de los polímeros. Reverté.
- Bosch, R. (2003). Sistemas de freno convencionales y electrónicos. En R. Bosch, Sistemas de freno convencionales y electrónicos (pág. 52). Plochingen: Alemana.
- Carbosystem. (S/F de S/F de S/F). Obtenido de [http://carbosystem.com/wp-content/uploads/pdf\\_fiber\\_e.pdf](http://carbosystem.com/wp-content/uploads/pdf_fiber_e.pdf)
- Collantes, A. (2011). Agricultura Practica.
- Covarrubias, H. (Julio de 2016). Ehu. Obtenido de <http://www.ehu.eus/reviberpol/pdf/NOV16/covarrubias.pdf>
- Diez, S. G. (S/F de S/F de 2011). Ehu. Obtenido de <http://www.ehu.eus/reviberpol/pdf/OCT11/garcia.pdf>
- Doerner, M. (2005). Los materiales de pintura y su empleo en el arte. Reverté.
- Doerner, M. (2005). Los materiales de pintura y su empleo en el arte. Reverté.
- Dominguez, E. J. (2014). Elementos amóviles. Editex.
- Dominguez, E. J. (2014). Sistemas de transmisión y frenado. Editex.
- Full Brakes. (2014). Obtenido de [http://www.bullbrakes.com/article/show\\_article.php?id=1256](http://www.bullbrakes.com/article/show_article.php?id=1256)
- Garibaldi, A. (2014). Autotecnia. Obtenido de <http://www.autotecnica.tv/>
- Hola. (S/F de S/F de 2012). Mecánica Automotriz. Obtenido de <http://hola-mecanicaautomotriz.blogspot.com/2012/01/sistema-de-frenos.html>

Idin. (S/F). Obtenido de

<https://www.idin.org/sites/default/files/resources/Charcoal.pdf>

LABORATORY, O. R. (2001). Compositions, Functions, and Testing of.

Los materiales de pintura y su empleo en el arte. (2005).

Mitticorp. (2010). Mitticorp. Obtenido de <http://www.mitticorp.com/pastilla-de-frenos.html>

Mountainbike. (S/F de S/F de 2013). Obtenido de

<https://www.todomountainbike.net/art/tipos-de-pastillas-de-freno-para-bicicletas>

Muñoz, O. (S/F de S/F de S/F). Trekkingchile. Obtenido de

[http://www.trekkingchile.com/download/cursos/m139\\_sistemadefrenos1.pdf](http://www.trekkingchile.com/download/cursos/m139_sistemadefrenos1.pdf)

Ospina, D. H. (2008). Resinas Termofraguantes.

Owen, C. (2011). Automotive Brake Systemas.

Poveda, S. (2009). Ocw.

Rapin, P. J. (1997). Arquigráfico. En Instalaciones Frigoríficas (pág. 573). Marcombo.

Rastellini, F. (2003). Materiales Compuestos. Zaragoza.

Rufino, J. (2013). Determinación de mezclas de suelo estabilizado a partir de recursos de biomasa locales para mejorar la calidad de las viviendas construidas por la población del territorio de Uige, Angola. Ingeniería de construcción, 3.

Secomoto. (2017). Secomoto. Obtenido de

<http://www.secomoto.com/recambios-moto/frenos/pastillas-de-freno.html>

Stupenengo, F. (S/F de S/F de 2011). Instituto Nacional de Educación Tecnológica. Obtenido de <http://www.inet.edu.ar/wp-content/uploads/2012/11/materiales-compuestos.pdf>

Tarun. (S/F de S/F de 2012). TEZPUR UNIVERSITY. Obtenido de <http://www.tezu.ernet.in/sae/Download/Brakingsystem.pdf>

Teonline. (2013). Obtenido de <http://www.teonline.com/knowledge-centre/banana-fiber.html>

Valera, J. (2012). Alimentos Medicinales.

**ANEXOS**  
**PLANOS DEL MOLDE**