



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**“ANÁLISIS TRIBOLÓGICO COMPARATIVO DE PASTILLAS DE
FRENO CON FIBRAS DE VIDRIO Y CABUYA COMO
MATERIALES REEMPLAZANTES AL AMIANTO”**

TRABAJO DE TITULACIÓN:

TIPO: TRABAJO EXPERIMENTAL

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

AUTORES: ALEX XAVIER MARTINEZ PILAMUNGA;

WILLIAM FERNANDO TOASA TOAPANTA

DIRECTOR: Ing. David Víctor Bravo Morocho

RIOBAMBA-ECUADOR

2019

©2019, Alex Xavier Martínez Pilamunga; William Fernando Toasa Toapanta

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor

Nosotros, ALEX XAVIER MARTÍNEZ PILAMUNGA Y WILLIAM FERNANDO TOASA TOAPANTA, declaramos que el presente trabajo de titulación es de nuestra autoría y que los resultados de este son auténticos y originales. Los textos que constan en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autores asumimos la responsabilidad legal de los contenidos de este trabajo de titulación;
El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

Riobamba, 13 de noviembre de 2019



Alex Xavier Martínez Pilamunga

CI: 060509985-2



William Fernando Toasa Toapanta

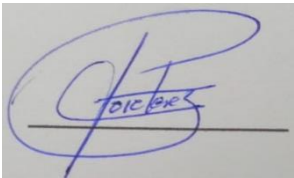
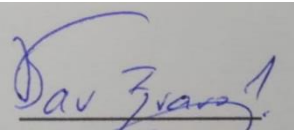
CI: 180473217-8

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

El tribunal de trabajo de titulación certifica que: El trabajo de titulación: Tipo: Trabajo experimental, **ANÁLISIS TRIBOLÓGICO COMPARATIVO DE PASTILLAS DE FRENO CON FIBRAS DE VIDRIO Y CABUYA COMO MATERIALES REEMPLAZANTES AL AMIANTO**, realizado por los señores: **ALEX XAVIER MARTINEZ PILAMUNGA; WILLIAM FERNANDO TOASA TOAPANTA**, ha sido minuciosamente revisados por los Miembros del Tribunal del trabajo de titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, el tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. José Francisco Pérez Fiallos PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		<u>11-11-2019 .</u>
Ing. David Víctor Bravo Morocho DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACION		<u>11-11-2019 .</u>
Ing. Rodrigo Rigoberto Moreno Pallares MIEMBRO DE TRIBUNAL		<u>11-11-2019 .</u>

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo de titulación a Dios, por darme fuerza y sabiduría durante toda la carrera. A mis padres que me brindaron su apoyo y cariño incondicional, además de grandes consejos que me inspiraban a no rendirme. A mi hermano que fue una fuente de inspiración y que estuvo conmigo en todo momento apoyándome.

TOASA TOAPANTA WILLIAM

El presente trabajo experimental lo quiero dedicar principalmente a mis padres Marcelo Martínez y Yolanda Pilamunga, por brindarme su amor incondicional, su sabiduría, sus experiencias y su sacrificio durante todos estos años y gracias a ellos he logrado llegar hasta aquí y convertirme en lo que soy. Es un orgullo y privilegio ser su hijo.

A todas las personas familiares y amigos que me han apoyado y han hecho que el trabajo se realice con éxito en especial a aquellos supieron compartirme un poco de sus conocimientos y experiencias.

MARTÍNEZ PILAMUNGA ALEX XAVIER

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi madre que me acompañó durante todos mis estudios, guiándome para siempre mejorar en los mismos y como persona. A mi padre que me siempre me apoyo con sus consejos y a mi hermano.

También agradezco a los docentes encargados del trabajo de titulación, ingenieros David Bravo, Rodrigo Moreno, que con su ayuda nos guiaron para la realización de esta. De igual manera a todos los docentes, compañeros y amigos de la Escuela de Ingeniería Automotriz.

TOASA TOAPANTA WILLIAM

Agradezco a Dios, por su bendición y sabiduría a toda mi familia, amigos y hacia mí, a mis padres por confiar y creer en mis expectativas y también por que supieron enseñarme valores y principios durante todos estos años.

También expreso mi agradecimiento a todos los docentes de la Escuela de Ingeniería Automotriz, quienes con la enseñanza de sus valiosos conocimientos hicieron que pueda crecer día a día como profesional.

Finalmente quiero expresar mi sincero agradecimiento a los ingenieros David Bravo, Rodrigo Moreno y Fabian Sánchez quienes con su profesionalismo y experiencia me permitieron llevar a cabo con éxito esta etapa de mi vida.

MARTÍNEZ PILAMUNGA ALEX XAVIER

TABLA DE CONTENIDO

INDICE DE TABLAS.....	ix
INDICE DE FIGURAS.....	xi
INDICE DE GRAFICAS	xiii
INDICE DE ANEXOS	xiv
RESUMEN.....	xv
ABSTRACT	xvi
INTRODUCCIÓN	1
1. MARCO REFERENCIAL.....	2
1.1 Antecedentes	2
1.2 Planteamiento del Problema.....	3
1.3 Justificación	3
<i>1.3.1 Justificación teórica</i>	<i>3</i>
<i>1.3.2 Justificación metodológica</i>	<i>4</i>
<i>1.3.3 Justificación practica</i>	<i>4</i>
1.4 Objetivos.....	4
<i>1.4.1 Objetivo General</i>	<i>4</i>
<i>1.4.2 Objetivos Específicos</i>	<i>4</i>
1.5 Hipótesis	5
<i>1.5.1 Hipótesis Nula (Ho):</i>	<i>5</i>
<i>1.5.2 Hipótesis alternativa (Hi):</i>	<i>5</i>
2. MARCO TEÓRICO.....	6
2.1 Sistema de Frenado.....	6
2.1.1 Composición.	6
2.1.2 Tipos de frenos según su constitución	7
2.1.2.1 Freno de Tambor	7
2.1.2.2 Freno de Disco	8
2.2.1 Tipos de pastillas de frenos:	10
2.2.1.1 Pastillas de freno orgánicas.....	10
2.2.1.2 Pastillas de frenos semi metálicas	11
2.2.1.3 Pastillas Metálicas.....	12
2.2.1.4 Pastillas Cerámicas	12
2.2.2 Composición de una pastilla de frenos	13
2.2.2.1 Cargas Minerales.....	14
2.2.2.2 Materiales Orgánicos	14

2.2.2.3	<i>Lubricantes</i>	14
2.2.2.4	<i>Metales</i>	15
2.2.2.5	<i>Fibras</i>	15
2.2.2.6	<i>Abrasivos</i>	15
2.2.3	<i>Fabricación</i>	15
2.2.3.1	<i>Proceso de mezclado</i>	15
2.2.3.2	<i>Prensado en caliente</i>	16
2.2.3.3	<i>Curado</i>	16
2.2.3.4	<i>Escorchado</i>	16
2.2.3.5	<i>Mecanizado</i>	16
2.2.3.6	<i>Puesta de accesorios</i>	16
2.2.3.7	<i>Marcado y estuchado</i>	17
2.3	Fibras	17
2.3.1	<i>Fibras de cabuya</i>	17
2.3.1.1	<i>Propiedades de la fibra de Cabuya</i>	18
2.3.2	<i>Fibra de vidrio</i>	18
2.3.2.1	<i>Propiedades de la fibra de vidrio</i>	19
2.4	Tribología	20
2.4.1	<i>Ensayo de Impacto o péndulo de Charpy</i>	20
2.4.2	<i>Ensayo pin on disk</i>	21
2.4.3	<i>Ensayo de Abrasión por medio de arena seca</i>	23
2.4.4	<i>Ensayo de Dureza Brinell</i>	24
2.5	Hipótesis	27
2.5.1	<i>Prueba de hipótesis</i>	27
2.5.2	<i>Procedimiento para probar una hipótesis</i>	28
2.5.2.1	<i>Paso 1:</i>	28
2.5.2.2	<i>Paso 2: Se selecciona un nivel de significancia</i>	28
2.5.2.3	<i>Paso 3: Selección del estadístico de prueba</i>	29
2.5.2.4	<i>Paso 4: formulación de la regla de decisión</i>	30
2.5.2.5	<i>Paso 5: Se toma una decisión</i>	31
3.	DISEÑO Y EXPERIMENTACIÓN	32
3.1	Introducción	32
3.2	Materiales y métodos	32
3.2.1	<i>Materiales</i>	32
3.2.2	<i>Métodos</i>	35
3.2.3	<i>Codificación de probetas según el material</i>	37

3.3	Preparación de las probetas	37
3.3.1	<i>Elaboración de un molde para probetas.....</i>	37
3.3.2	<i>Preparación de mezcla</i>	39
3.3.2.1	<i>Cálculo del volumen total de todas las probetas:.....</i>	39
3.3.2.2	<i>Cálculo del porcentaje de masa de los diferentes componentes de las probetas.....</i>	40
3.3.2.3	<i>Mezcla de los componentes, colocación de la mezcla en el molde y cocción de las probetas</i>	44
3.3.2.4	<i>Extracción de las probetas</i>	48
3.4	Procedimientos de los Ensayos Tribológicos.....	49
3.4.1	<i>Ensayo de Impacto o Péndulo de Charpy</i>	49
3.4.2	<i>Ensayo de Dureza Brinell.....</i>	54
3.4.3	<i>Ensayo de desgaste por abrasión de arena seca</i>	59
3.4.4	<i>Ensayo de desgaste PIN ON DISK</i>	65
4.	ANÁLISIS COMPARATIVOS DE RESULTADOS.....	73
4.1	<i>Análisis comparativo del ensayo de impacto</i>	73
4.2	<i>Análisis comparativo del ensayo de dureza</i>	75
4.3	<i>Análisis comparativo del ensayo de desgaste</i>	77
4.4	<i>Análisis comparativo del ensayo de desgaste “PIN ON DISK”</i>	79
4.5	<i>Discusión.....</i>	81
4.6	<i>Conclusiones preliminares</i>	83
	CONCLUSIONES	84
	RECOMENDACIONES.....	85
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	

INDICE DE TABLAS

Tabla 1-2: Porcentaje de composición de pastillas de frenos	13
Tabla 2-2: Características de diferentes fibras sintéticas y naturales.....	18
Tabla 3-2: Composición química de diversas fibras orgánicas	18
Tabla 4-2: Propiedades mecánicas de la fibra de vidrio.....	19
Tabla 5-2: Diámetro de la bola indentadora	25
Tabla 6-2: Valores usuales de K para distintos materiales.....	26
Tabla 7-2: Los tiempos (t) de duración del ensayo en función del material.....	26
Tabla 8-2: Dureza de distintos materiales	27
Tabla 1-3: Tipos y dimensiones de probetas según sus normas	36
Tabla 2-3: Codificación de probetas según el material	37
Tabla 3-3: Porcentajes y densidades de los componentes de una pastilla con la fibra de cabuya sustituyendo al amianto	40
Tabla 4-3: Porcentajes y densidades de los componentes de una pastilla con la fibra de vidrio sustituyendo al amianto	41
Tabla 5-3: Masa de los componentes de la pastilla con la fibra de cabuya sustituyendo al amianto	43
Tabla 6-3: Masa de los componentes de la pastilla con la fibra de vidrio sustituyendo al amianto	44
Tabla 7-3: Control de la temperatura según el tiempo transcurrido.....	47
Tabla 8-3: Datos del ensayo de impacto en la probeta que contiene amianto	53
Tabla 9-3: Datos del ensayo de impacto en la probeta que contiene fibra de vidrio.....	53
Tabla 10-3: Datos del ensayo de impacto en la probeta que contiene fibra de cabuya.....	54
Tabla 11-3: Datos del ensayo de dureza en la probeta que contiene amianto	56
Tabla 12-3: Datos del ensayo de dureza en la probeta que contiene fibra de vidrio.....	57
Tabla 13-3: Datos del ensayo de dureza en la probeta que contiene fibra de vidrio.....	58
Tabla 14-3: Datos del ensayo de abrasión con arena seca en la probeta que contiene amianto .	62
Tabla 15-3: Datos del ensayo de abrasión con arena seca en la probeta que contiene fibra de vidrio	63
Tabla 16-3: Datos del ensayo de abrasión con arena seca en la probeta que contiene fibra de cabuya.....	64
Tabla 17-3: Datos del ensayo PIN ON DISK en la probeta que contiene amianto	68
Tabla 18-3: Coeficientes de Fricción	68

Tabla 19-3: Datos del ensayo PIN ON DISK en la probeta que contiene fibra de vidrio	69
Tabla 20-3: Coeficiente de fricción	69
Tabla 21-3: Datos del ensayo PIN ON DISK en la probeta que contiene fibra de cabuya	71
Tabla 22-3: Coeficiente de fricción	71
Tabla 1-4: Datos resumidos de los distintos ensayos.....	73
Tabla 2-4: Análisis comparativo del ensayo de impacto por medio de prueba de hipótesis	74
Tabla 3-4: Análisis comparativo del ensayo de dureza por medio de prueba de hipótesis	76
Tabla 4-4: Análisis comparativo del ensayo de desgaste por abrasión con arena seca por medio de prueba de hipótesis.	78
Tabla 4-5: Análisis comparativo del ensayo de desgaste “PIN ON DISK” por medio de prueba de hipótesis	80

INDICE DE FIGURAS

Figura 1-2: Composición del sistema de freno.....	6
Figura 2-2: Despiece del freno de tambor.....	7
Figura 3-2: Configuración de la zapata de freno.....	8
Figura 4-2: Montaje de freno de disco.....	9
Figura 5-2: Composición de un freno de disco con pinza fija.....	9
Figura 6-2: Pastillas de frenos orgánicas.....	11
Figura 7-2: Pastillas de frenos semimetálicas.....	11
Figura 8-2: Pastillas de frenos metálicas.....	12
Figura 9-2: Pastillas de frenos metálicas.....	13
Figura 10-2: Cabuya.....	17
Figura 11-2: Fibra de vidrio.....	19
Figura 12-2: Péndulo de Charpy.....	21
Figura 13-2: Composición de la maquina PIN ON DISK.....	22
Figura 14-2: Maquina de desgaste por abrasión con arena seca.....	23
Figura 15-2: Maquina de dureza Brinell.....	24
Figura 16-2: Regiones de aceptación y rechazo de una prueba de dos colas.....	30
Figura 1-3: Bloque de aluminio.....	38
Figura 2-3: Mecanizado del molde de las probetas.....	38
Figura 3-3: Molde terminado.....	38
Figura 4-3: Mecanizado de la tapa.....	39
Figura 5-3: Tapa Terminada.....	39
Figura 6-3: Mezcla de los componentes.....	44
Figura 7-3: Colocación de la mezcla.....	44
Figura 8-3: Colocación de la mezcla con la fibra de vidrio.....	45
Figura 9-3: Colocación de la mezcla con la fibra de cabuya.....	45
Figura 10-3: Compresión de la mezcla a 220 bares.....	45
Figura 11-3: Mezcla comprimida.....	46
Figura 12-3: Colocación del molde en la mufla.....	46
Figura 13-3: Retiro del molde dentro de 2 horas.....	47
Figura 14-3: Prensado en caliente.....	47
Figura 15-3: Control de la temperatura.....	48
Figura 16-3: Extracción de la probeta.....	49

Figura 17-3: Probetas extraídas.....	49
Figura 18-3: Péndulo De Charpy CEAST.....	50
Figura 19-3: Probetas Normadas para ensayo de Charpy	50
Figura 20-3: Medición de las probetas.....	51
Figura 21-3: Cambio del martillo de 2 Jules	51
Figura 22-3: Ubicación de la probeta en la base inferior	52
Figura 23-3: Toma de resultados de resistencia	52
Figura 24-3: Probetas rotas después del ensayo	52
Figura 25-3: Durómetro Brinell.....	54
Figura 26-3: Probetas utilizadas en el ensayo	55
Figura 27-3: Aplicación de la carga principal	55
Figura 28-3: Medición de la huella dejado por el penetrómetro	56
Figura 29-3: Maquina de desgaste por arena seca	59
Figura 30-3: Probetas para en ensayo de desgaste por abrasión de arena seca	60
Figura 31-3: Peso de las probetas.....	60
Figura 32-3: funcionamiento de la maquina con el tiempo estimado	61
Figura 33-3: Peso de la probeta después de la prueba	61
Figura 34-3: Probetas después del ensayo	62
Figura 35-3: Tribómetro Pin on Disk	65
Figura 36-3: Probetas para el ensayo.....	66
Figura 37-3: Pesado de las probetas antes del ensayo	66
Figura 38-3: Ingreso de parámetro a la maquina.....	66
Figura 39-3: Funcionamiento con el tiempo determinado	67
Figura 40-3: Peso de la probeta después del ensayo.....	67

INDICE DE GRAFICAS

Gráfica 1-2: Porcentaje en volumen de pastillas de frenos	144
Gráfica 1-3: Control de la temperatura según el tiempo transcurrido.....	488
Gráfica 1-4: Análisis comparativo del ensayo de impacto por medio de una gráfica comparativa	75
Gráfica 2-4: Análisis comparativo del ensayo de dureza por medio de una gráfica comparativa	777
Gráfica 3-4: Análisis comparativo del ensayo de desgaste por abrasión con arena seca	799
Gráfica 4-4: Análisis comparativo del ensayo “PIN ON DISK”	81
Gráfica 5-4: Relacion de los ensayos con la tasa de desgaste´	82

INDICE DE ANEXOS

Anexo A Dimensiones del molde de probetas

Anexo B Dimensiones de la tapa del molde de probetas

Anexo C Tabla de distribución t-Sudán de dos colas

Anexo D Resultados del ensayo PIN ON DISK

RESUMEN

David Zraoua
Ing. Víctor David Brano M.
Director Trab. Titulación

El objetivo del presente trabajo experimental es realizar el análisis tribológico y mecánico comparativo de pastillas de freno con fibras de vidrio y cabuya como materiales reemplazantes al amianto, para lo cual se eligió pruebas mecánicas y tribológicas para validar los resultados, y poder determinar la factibilidad de uso de estas dentro del mercado nacional. Los ensayos tribológicos escogidos fueron el de desgaste por medio de arena seca según norma ASTM G-65, ensayo Pin on Disk, basado en la norma ASTM G-99, mientras que los ensayos mecánicos fueron de ensayo de impacto o péndulo de Charpy bajo la norma ASTM E-23 y el ensayo de dureza Brinell ASTM E-10. Se empezó por la elaboración de cinco probetas para cada ensayo y tipo de material, todas dimensionadas de acuerdo con la norma correspondiente. Los ensayos tribológico y mecánico se llevaron a cabo siguiendo el procedimiento y las condiciones de carga, temperatura, tiempo y velocidades establecidas en cada norma. Los resultados obtenidos se organizaron en tablas que ayudaron a la realización de un modelo estadístico comparativo T-Student, que muestra si existe o no variación de las propiedades mecánicas de las probetas de pastillas de fibras de amianto, con las de fibra de vidrio y cabuya, también se realizó gráficos comparativos entre los valores de tasa de desgaste, coeficiente de fricción, dureza, para poder determinar su relación costo-beneficio. A partir de los resultados obtenidos, se concluye que las probetas de pastillas de frenos elaboradas con fibra de vidrio y cabuya no tienen las características mecánicas que asemejen a las de amianto por lo que no serían un buen sustituyente de este dentro de las pastillas de frenos, se recomienda realizar pruebas con otros tipos de materiales para tratar de encontrar un sustituto al amianto que tenga mejores características mecánicas y tribológicas de ser posible.

Palabras claves: <TECNOLOGÍA Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA>, <PASTILLAS DE FRENOS>, <AMIANTO>, < FIBRA DE VIDRIO>, <FIBRA DE CABUYA>, < TRIBOLOGÍA>, < ANÁLISIS ESTADÍSTICO>.

DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS
Y RECURSOS PARA EL APRENDIZAJE
Y LA INVESTIGACIÓN
Ing. Jhonatan Parroto
30-09-2014

ABSTRACT

The objective of this experimental work is to carry out the comparative tribological and mechanical analysis of brake pads with glass fibers and cabuya as substitute materials for asbestos, for which mechanical and tribological tests were chosen to validate the results, and be able to determine the feasibility of the correct usage of the forementioned materials in the national market. The tribological tests chosen were that of wear by means of dry sand according to ASTM G-65 standard, Pin on Disk test, based on the ASTM G-99 standard, while the mechanical tests were Charpy impact or pendulum tests under the standard ASTM E-23 and the Brinell ASTM E-10 hardness test. It was started by the developing five test tube for each test and type of material, all sized according to the corresponding standard. The tribological and mechanical tests were carried out following the procedure and the conditions of load, temperature, time and speed established in each standard. The results obtained were organized in tables that helped the realization of a comparative statistical model T-Student, which shows whether or not there is variation of the mechanical properties of the asbestos fiber test tube specimens, with those of fiberglass and cabuya also, comparative graphs were made between the values of wear rate, coefficient of friction, hardness, in order to determine its cost-benefit ratio. From the results obtained, it is concluded that the brake tests tube made with fiberglass and cabuya do not have the mechanical characteristics that resemble those of asbestos, so it would not be a good substituent that is inside the brake pads, it is recommended to perform tests with other types of materials to try to find a substitute for asbestos that has better mechanical and tribological characteristics if possible.

Keywords: <TECHNOLOGY AND ENGINEERING SCIENCES>, <BRAKE PADS>, <ASBESTOS>, <FIBERGLASS>, <CABUYA FIBER>, <TRIBOLOGY>, <STATISTICAL ANALYSIS>.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad la contaminación generada por los vehículos representa una problemática mundial, debido a que su efecto se ve reflejado en el medio ambiente y en la salud de las personas. Esto también implica a las pastillas de frenos ya que las partículas que son liberadas en el frenado van directamente al aire y otras son retenidas en el sistema de frenado, lo cual significa un peligro tanto para los operadores de mantenimiento como para los transeúntes.

El presente trabajo experimental se basa en buscar un material sustituyente al amianto en las pastillas de freno, que cumpla o se asemeje a las características tribológicas y mecánicas presentadas por las mismas, que puedan reemplazar a este tipo de pastillas dentro del mercado nacional. Se decidió ocupar la fibra de vidrio y fibra de cabuya, ya que estos poseen buenas propiedades mecánicas, para la realización de los análisis. Se realizarán el diseño y fresado del molde de las probetas que estarán dimensionadas según las normas correspondientes. El porcentaje de los componentes químicos que componen las pastillas de frenos serán calculados en base a los revisados en fuentes bibliográficas. Los ensayos serán realizados bajo las normas ASTM G-99, ASTM G-65, ASTM E-23, ASTM 10, siguiendo los parámetros establecidos dentro de las mismas. La toma de datos se realizará de forma directa utilizando herramientas específicas, se obtendrán varias mediciones que permitirán obtener una media que será ocupada para la comparación de resultados.

La metodología para la validación de las hipótesis se realizara utilizando el modelo matemático estadístico T-Student, que determinara si existe o no variación de los resultados obtenidos en cada ensayo, también se realizaran gráficas que describirán el comportamiento de cada probeta de pastilla de freno, con estos datos se realizara análisis de su costo-beneficio que permitirán sacar conclusiones sobre la factibilidad de uso de las pastillas de frenos con fibra de cabuya o vidrio como sustituyente del amianto, en el mercado nacional.



CAPÍTULO I

1. MARCO REFERENCIAL

1.1 Antecedentes

La contaminación ambiental producida por el parque automotor a nivel mundial en el último siglo ha venido en aumento, esto se debe a que cada año la demanda de vehículos va en aumento lo que deriva en una serie de problemas medioambientales como son: mayor quema de combustibles fósiles (gasolina, Diesel) lo que libera más gases contaminantes emitidos hacia la atmosfera ayudando al calentamiento global, el uso y desecho de fluidos tóxicos (aceites, grasas) y la liberación de partículas o polvos procedentes de los elementos reductores de velocidad (pastillas, zapatas), que potencialmente dañinos para la salud del usuario así como de los operadores de mantenimiento. (Ladyverd,2015)

Según Airparif, el 41% de las partículas finas en suspensión (PM10) emitidas por el tráfico motorizado provienen de la abrasión de los neumáticos, de los revestimientos de las carreteras y de los frenos. Frenar supone la emisión de un 20% del total de partículas generadas por el tráfico. En efecto, según un estudio realizado en Alemania por el Instituto del Medio Ambiente de la Universidad Técnica de Berlín, sólo el desgaste de los frenos genera el 20% del conjunto de partículas suspendidas en el aire que respiramos. Por lo tanto, cuando apretamos el pedal del freno estamos generando la emisión de partículas finas a la atmósfera. Según el Instituto Francés de Ciencias Aplicadas (INSA), cada año se emiten en Francia 20.000 toneladas de polvo provenientes del roce de las pastillas de freno. Incluso las pastillas de freno de los automóviles eléctricos emiten partículas.(Ladyverd,2015)

Aunque las partículas procedentes del desgaste de los frenos son menos nocivas que las emitidas por los tubos de escape de los vehículos diésel, no dejan de ser dañinas para la salud pública. Estas partículas están constituidas por carbono y metales pesados de alta toxicidad (cobre, cadmio, bario, níquel, cromo, plomo etc.) y pueden causar desde bronquitis crónicas y asma hasta cáncer. Debido a su tamaño microscópico, estas partículas pueden alcanzar los alveolos pulmonares y los bronquios con relativa facilidad. Además, estas partículas pueden resultar muy agresivas agudizando los fenómenos inflamatorios de los bronquios al dañar su revestimiento celular interior.(Ladyverd,2015)

En Ecuador no existe un estudio a profundidad sobre las posibles alternativas para reemplazar el amianto por un material que cumpla con las mismas propiedades mecánicas y tribológicas.

Debido a esto y a los artículos referenciados anteriormente surge la necesidad de realizar una investigación que permita a los fabricantes de pastillas tener una posibilidad de poder cambiar el aglomerante de sus pastillas de freno por un elemento menos nocivo y con las propiedades mecánicas y tribologías semejantes.

En la actualidad dentro del mercado local existen tres variedades de pastillas de frenos las cuales varían entre si dependiendo de su composición de tal manera se tiene las pastillas de frenos metálicas que al ser elaboradas solo con materiales metálicos son las más contaminantes, las pastillas cerámicas que de igual forma ocupan en su mayor estructura materiales metálicos y no metálicos y las patillas orgánicas o semimetálicas que es una mezcla de las pastillas metálicas con varios componentes naturales en su mayoría carbón activo que resultan poco agresivas para el medio ambiente. En el país el tipo de pastillas utilizada son las metálicas debido a la mayoría de las marcas de automóviles que emplean este tipo de pastillas.

1.2 Planteamiento del Problema

El problema que se abordara en el presente proyecto es, el bajo o nulo aporte local a la fabricación de pastillas de frenos, esto se evidencia claramente en el mercado de repuestos donde se encuentra que la gran parte de patillas y zapatas de frenos son importadas. Un ejemplo de esto son las empresas locales que se dedican al remachado de pastillas y zapatas que importan sus productos elaborados en vez de realizarlos por su cuenta.

Dentro de la provincia también se encontró la falta de un estudio completo sobre 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 pastillas del mercado como las pastillas metálicas, semimetálicas y cerámicas, pero a un costo menor, tanto económico.

También se debe considerar las propiedades mecánicas y tribológicas de las pastillas con los materiales sustituyentes al amianto ya que estas deben contener las mismas similitudes en cuanto a propiedades a las pastillas que existe en el mercado nacional.

1.3 Justificación

1.3.1 Justificación teórica

El presente trabajo experimental se realiza con el objetivo de mostrar el uso de materiales alternativos como constituyentes de pastillas de frenos, siendo estos que tengan las mismas

propiedades mecánicas y tribológicas que las pastillas con amianto, también se quiere fomentar la investigación de muchos más materiales que ayudarían a la producción nacional con materiales que existen a nivel nacional.

1.3.2 Justificación metodológica

Por medio de la presente investigación se busca desarrollar pastillas de frenos con base de fibras de cabuya y fibras de vidrio, que sustituyan el porcentaje generado por el amianto, su caracterización por medio de ensayos tribológicos y mecánicos como el ASTM G-65 desgaste por medio de arena seca, ASTM G-99 desgaste pin on disk, ASTM E-23 ensayo de impacto o péndulo de Charpy, ASTM E-10 ensayo de dureza Brinell.

1.3.3 Justificación practica

El trabajo experimental se justifica prácticamente mediante la elaboración de diversos ensayos como son los de desgaste por fricción, ensayo del análisis tribológico de las mismas donde los resultados obtenidos serán comparados con los parámetros de las pastillas existentes en el mercado además se utilizara un modelo estadístico T-Student para validar las ensayos realizados y saber si existe o no una variación en los resultados obtenidos de los diferentes ensayos, y finalmente se establecerá la factibilidad del uso de estas en el mercado con las relaciones beneficio-costos.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Analizar de manera tribológica y mecánica la fibra de vidrio y de cabuya que reemplace al amianto como elemento primario en pastillas de freno metálicas para la reducción del efecto nocivo del amianto.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Conceptualizar los diferentes temas referentes a la composición y uso de las diversas pastillas de frenos.
- Elaborar probetas con cabuya y fibra de vidrio tejida, que cumplan con la norma establecida para su elaboración.

- Realizar diferentes tipos de análisis tribológicos y mecánicos a las probetas para su caracterización.
- Comparar los datos de las diferentes pruebas con las características de las pastillas existentes en el mercado mediante pruebas de análisis estadísticos.

1.5 Hipótesis

1.5.1 Hipótesis Nula (H₀):

El coeficiente de fricción, la cantidad de absorción de energía por milímetro cuadrado y la tasa de desgaste de una pastilla de freno, no varían al sustituir solo el amianto por fibra de cabuya y/o fibra de vidrio tejida.

1.5.2 Hipótesis alternativa (H_i):

El coeficiente de fricción, la cantidad de absorción de energía por milímetro cuadrado y la tasa de desgaste de una pastilla de freno, varían al sustituir solo el amianto por fibra de cabuya y/o fibra de vidrio tejida.

CAPITULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Sistema de Frenado

Un vehículo dispone de un sistema de frenado que va a ser un conjunto de piezas que tienen por función disminuir o anular paulatinamente la velocidad de un vehículo en marcha, o mantenerlo inmovilizado cuando este detenido. (Domínguez y Ferrer 2012, p. 228)

El movimiento del vehículo se obtiene por medio del giro de los neumáticos y para poder anular este movimiento se aplica un esfuerzo a los neumáticos que los contengan en su giro, para ello se realiza el frotamiento de unas "zapatas" sobre un tambor, o de unas "plaquetas" contra un disco, según los casos, transformando la energía cinética del vehículo en movimiento en energía calorífica y disipar el calor generado en los elementos activos. (Alonso Pérez 2001, p. 185)

2.1.1 Composición.

A continuación, se presenta la composición de un sistema de frenos ABS, el cual posee discos de frenos en las cuatro ruedas, controlados electrónicamente.

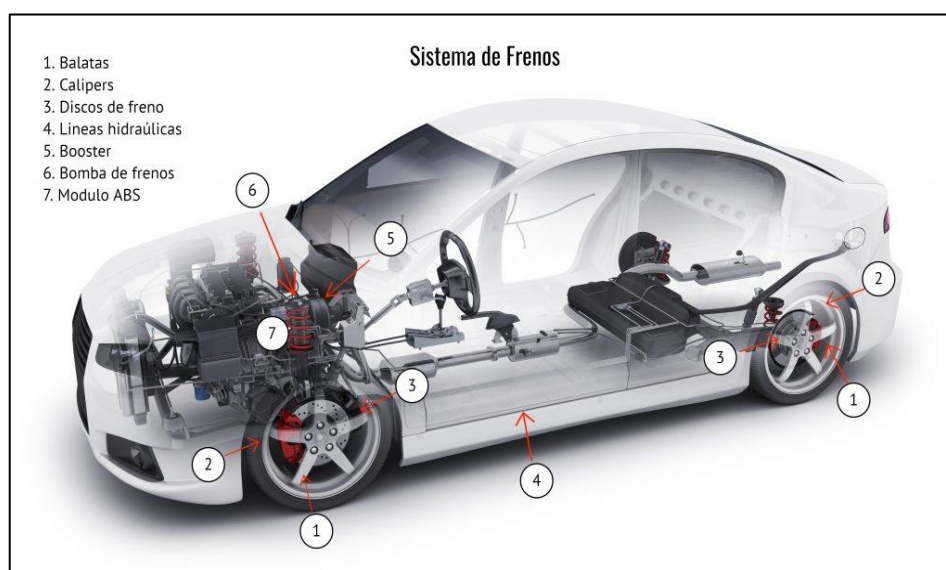


Figura 1-2: Composición del sistema de freno.

Realizado por: (Automotriz Maver, 2019)

2.1.2 Tipos de frenos según su constitución

2.1.2.1 Freno de Tambor

El freno de tambor es un tipo de freno en el que la fricción se causa por un par de zapatas que presionan contra la superficie interior de un tambor giratorio, el cual está conectado al eje o la rueda. (Alonso Pérez 2014, p. 193)

Constitución del freno de tambor

El freno de tambor consta de un porta frenos, el tambor de freno, dos zapatas de freno con forros, el dispositivo de tensado, bombín de freno, los resortes de retención, los resortes recuperadores y los dispositivos de ajuste. (Domínguez y Ferrer 2012, p. 256)

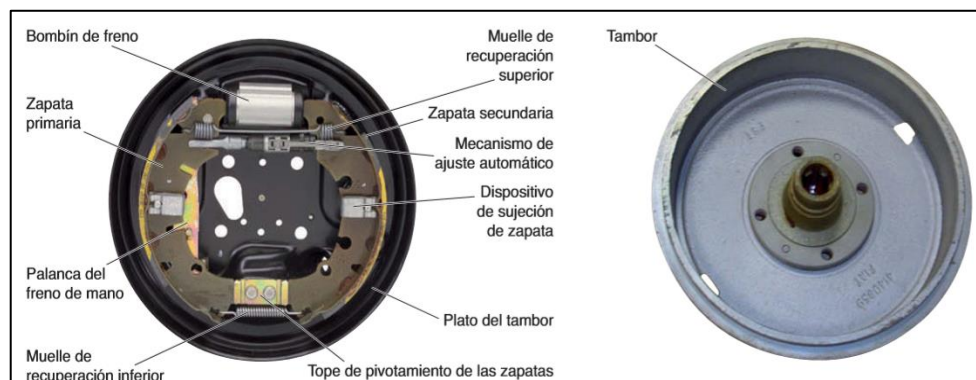


Figura 2-1: Despiece del freno de tambor

Realizado por: (Domínguez y Ferrer 2012, p. 256)

Funcionamiento del freno de tambor

El porta frenos se encuentra en el puente o en la mangueta y soporta las zapatas y los componentes de tensado para la movilidad de estas. El tambor de freno se monta sobre el buje de la rueda y realiza su giro con la rueda. (Domínguez y Ferrer 2012, p. 262)

Cuando se activa los componentes de tensado, bombín de freno, aprieta fuertemente las zapatas contra el tambor de freno. A través de la fricción entre ambas superficies se frena el tambor y a su vez la rueda. (Domínguez y Ferrer 2012, p. 262)

Los sistemas de freno de tambor tienen sus características como:

- El reforzamiento de las zapatas de freno primarias y secundarias.
- Disminución de fuerza de accionamiento con respecto a los frenos de disco.

- La capacidad de ser sensible a oscilaciones del coeficiente de rozamiento y temperatura.
- Se ensucia con facilidad y no tiene una buena autolimpieza.

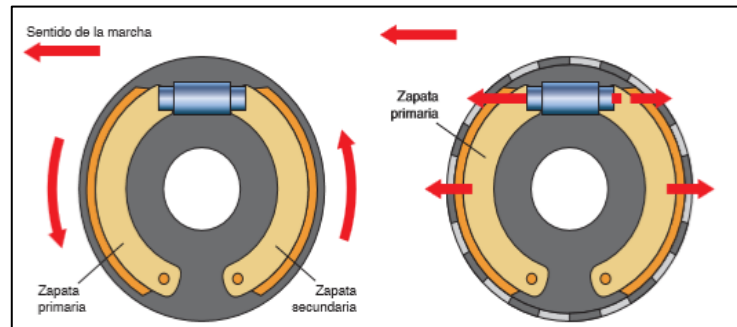


Figura 3-2: Configuración de la zapata de freno

Realizado por: (Domínguez y Ferrer 2012, p. 262)

2.1.2.2 Freno de Disco

El sistema de freno de disco es el que más es utilizado en automóviles y motocicletas. Este freno es más ligero, sencillo y efectivo que el sistema de freno de tambor, y se está imponiendo como freno de rueda en la mayoría de los vehículos. (Domínguez y Ferrer 2012, p. 265)

El freno de disco basa su funcionamiento y constitución en principios mecánicos e hidráulicos sencillos, la bomba transmite la presión en el circuito, y por medio de los émbolos de las pinzas, se transforma en fuerza de empuje sobre las pastillas. El disco gira solidario a la rueda y las pastillas lo presionan hasta detenerlo. (Domínguez y Ferrer 2012, p. 265)

El sistema de freno de disco tiene sus características como:

- El peso de un conjunto completo de freno de disco es inferior al sistema de freno de tambor y se mejora en las condiciones del vehículo en marcha, aceleración, frenada, etc.
- Es muy eficaz y más rápido de respuesta que el sistema de freno con zapatas.
- Evacua mejor el calor y no sufre el denominado efecto «fading», gracias a que el disco va al aire y a los diferentes sistemas de refrigeración del disco.

- La reparación y mantenimiento del sistema de freno de disco, es sencillo, y se puede resumir en el cambio de líquido de frenos y en la sustitución de pastillas.

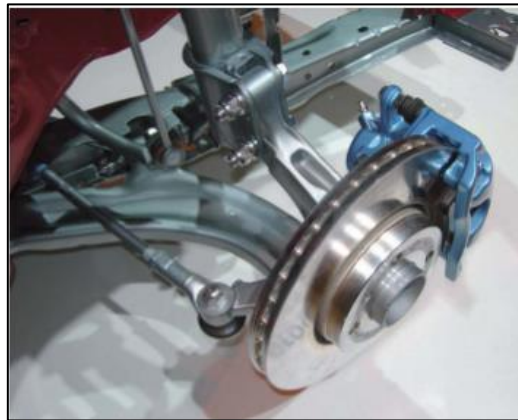


Figura 4-2: Montaje de freno de disco

Realizado por: (Domínguez y Ferrer 2012, p. 265)

Constitución del sistema de freno de disco

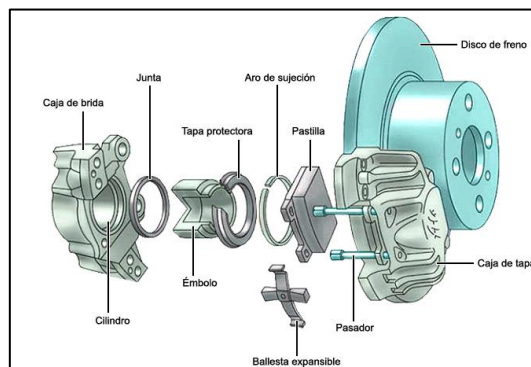


Figura 5-2: Composición de un freno de disco con pinza fija

Realizado por: (Kashima University, 2019)

2.2 Pasillas de frenos

La pastilla de freno constituye el elemento desacelerante del sistema de freno de disco. Debe disponer de unas cualidades muy específicas que le permitan soportar elevadas temperaturas y altas fricciones. Las características más importantes de las pastillas de freno son: (Domínguez y Ferrer 2012b, p. 269)

Para realizar la frenada las pastillas de freno tienen que poseer características específicas como:

- Poseer buena estabilidad térmica, lo cual garantizará que las mismas puedan soportar las altas temperaturas generadas por la fricción sin deformarse.
- Poseer resistencia a la abrasión.

- Dilatación nula de los materiales, a altas temperaturas.
- Un coeficiente de fricción estable en las diversas condiciones presiones y temperaturas a las que estará expuesta durante el frenado.
- Una alta durabilidad.
- Poseer resistencia al cizallamiento e impacto.

Dentro de las pastillas de frenos el material que esta expuesto a la fricción y genera la frenada se denomina “ferodo”. Dependiendo de los materiales que componen este compuesto se define el grado de dureza de la pastilla de frenos, los cuales se clasifican en blandas o duras. A nivel internacional la codificación se la realiza con las letras «WVA» más un número. (Domínguez y Ferrer 2012b, p. 269)

Los materiales que componen una pastilla de frenos y el porcentaje de los mismo para la fabricación de las pastillas son:

- Materiales de rozamiento, aproximadamente un 8%: fibras de carbono, aramida, metal, vidrio. (Domínguez y Ferrer 2012b, p. 269)
- Sustancias de relleno, aproximadamente un 35%: óxido de hierro, óxido de aluminio, espato pesado. (Domínguez y Ferrer 2012b, p. 269)
- Material deslizante, aproximadamente un 33%: polvo de coque y/o grafito. (Domínguez y Ferrer 2012b, p. 269)
- Sustancias aglutinantes, aproximadamente un 25%: resina sintética y caucho. (Domínguez y Ferrer 2012b, p. 269)
- Aditivos de metal, aproximadamente un 9%: acero, cobre, cinc, latón, aluminio. (Domínguez y Ferrer 2012b, p. 269)

2.2.1 Tipos de pastillas de frenos:

2.2.1.1 Pastillas de freno orgánicas

Este tipo de pastillas de freno se caracterizan por tener como componentes fundamentales en su estructura materiales orgánicos e inorgánicos que se compactan generalmente con resinas. (Luque C, 2015)

Las ventajas que brindan estas pastillas son: mejor modulación del frenado, un mínimo desgaste del disco, buena respuesta inicial en la frenada, generan muy poco ruido, al no transmitir calor ayudan a la conservación de la pinza del freno de disco. (Luque C, 2015)

Las desventajas o inconvenientes que pueden presentar estas pastillas son las relacionadas con la exposición de estas a periodos intensos de uso ya que suelen desgastarse con mayor rapidez y al calentarse pueden perder efectividad incluso llegando a cristalizarse. (Luque C, 2015)



Figura 6-2: Pastillas de frenos orgánicas

Realizado por: (Custom Center-Harley & Custom, 2019)

2.2.1.2 Pastillas de frenos semi metálicas

Las pastillas semi metálicas basan su estructura en polvos metálicos estos pueden ser de cobre, bronce o hierro. Además de ocupar resina como aglutinante para la mezcla, siendo su porcentaje mucho menor que en las pastillas orgánicas. La parte metálica de las pastillas agrega un coeficiente de fricción más estable y una mayor dureza, mientras que la resina ayuda a las frenadas en frío y la conservación del disco de freno. (Luque C, 2015)

Las ventajas más significativas que ofrecen este tipo de pastillas son: poseen una vida útil mayor a las pastillas orgánicas, a elevadas temperaturas mantienen un índice de rozamiento más estable, mejor rendimiento en cualquier condición climática. (Luque C, 2015)

Las desventajas que pueden presentar estas pastillas son: un costo más elevado en comparación a las orgánicas, un ruido mayor debido al contacto con el disco de freno, poseen un mal rendimiento inicial debido a que tardan en asentarse en bajas temperaturas, mala transferencia de calor. (Luque C, 2015)



Figura 7-2: Pastillas de frenos semimetálicas

Realizado por: (Brake Pak, 2018)

2.2.1.3 Pastillas Metálicas

Las pastillas de este tipo suelen estar compuestas únicamente de polvos metálicos sean de cobre, bronce, latón o incluso hierro que suelen compactarse mediante el calor, también se conoce a estas pastillas como pastillas de base de metal sinterizado debido a su modo de fabricación. (Luque C, 2015)

Las ventajas otorgadas por este tipo de pastillas son: duración muy elevada debido a que está compuesta de material metálico, coeficiente de fricción estable a muy elevadas temperaturas, soportan condiciones extremas de uso. (Luque C, 2015)

Las principales desventajas al usar este tipo de pastillas son: mucho ruido al frenar, no disipan de buena forma el calor lo que produce un mayor desgaste de los componentes de frenado, en bajas temperaturas de arranque tardan en frenar, desprenden una mayor cantidad de polvos al frenar, por lo que se requiere un mantenimiento continuo. (Luque C, 2015)

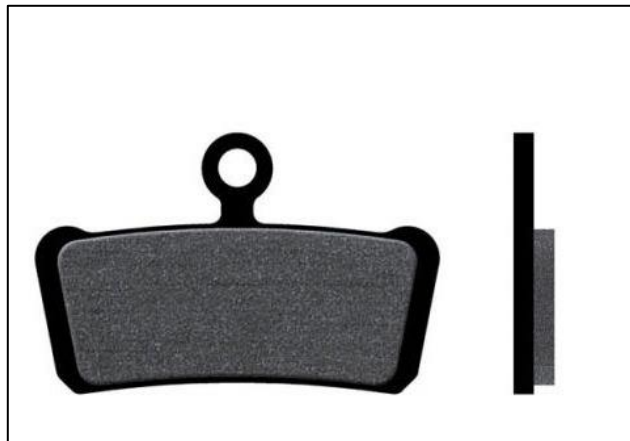


Figura 8-2: Pastillas de frenos metálicas

Realizado por: (Brujula Bike, 2019)

2.2.1.4 Pastillas Cerámicas

Este tipo de pastillas de frenos son mayor mente ocupadas en vehículos de gama alta o deportivos debido a las grandes ventajas que ofrecen sobre las anteriores pastillas, estas pueden ser una mejor disipación del calor y control sobre el “fading”, mayor durabilidad, mínima generación de polvos, menor ruido. Su principal inconveniente es el precio ya que es mucho más elevado que las anteriores. (Tamayo 2016, p. 60)



Figura 9-2: Pastillas de frenos metálicas

Realizado por: (Qingdao Saint.Bo Mechanical-electronic, 2019)

2.2.2 Composición de una pastilla de frenos

La mayoría de las pastillas de frenos existentes en el mercado basan su composición en la utilización de los siguientes compuestos: las fibras, cargas minerales, componentes metálicos, lubricantes o modificadores, materiales orgánicos, abrasivos.(Gómez 2007, p. 10)

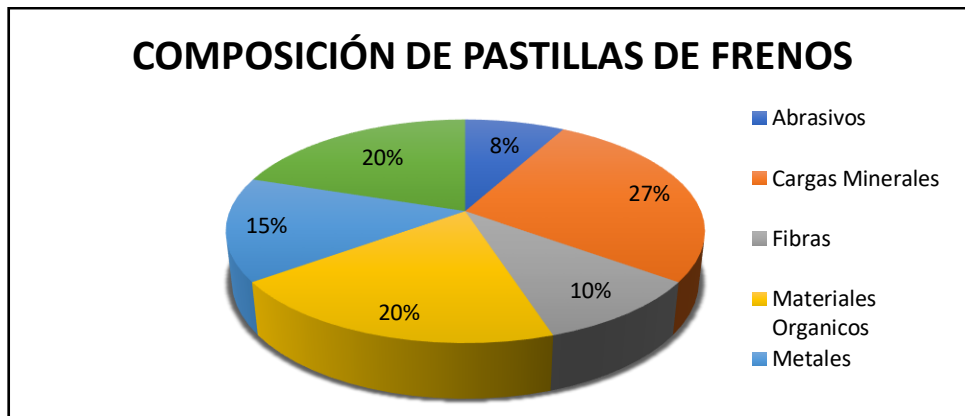
Los porcentajes utilizados dentro de la elaboración de estas se distribuye de la siguiente manera:

Tabla 1-2: Porcentaje de composición de pastillas de frenos

CONSTITUCIÓN DE PASTILLAS DE FRENOS		
Material	Elementos	Porcentaje
Cargas Minerales	Talco, magnesita, feldespato.	27%
Materiales Orgánicos	Resinas fenólicas, resinas epoxis.	20%
Lubricantes	Grafito, antracitas, sulfuros.	20%
Metales	Cobre o bronce	15%
Fibras	Fibra de carbono, fibra de vidrio, lana de roca o fibras orgánicas	10%
Abrasivos	Óxido de aluminio	8%
Total		100%

Fuente: (Gómez 2007, p. 10)

Realizado por: (Gómez,2007)



Gráfica 1-2: Porcentaje en volumen de pastillas de frenos

Realizado por: (Gómez 2007, p. 10)

La función que desempeña cada uno de los elementos constituyentes de las pastillas de freno se detallan a continuación, así como los materiales comúnmente utilizados por los productores dentro del mercado:

2.2.2.1 Cargas Minerales

Las cargas minerales poseen propiedades mecánicas como son la resistencia a la abrasión, además de elevada resistencia a las altas temperaturas por lo que son ocupadas en materiales termorresistentes. Los materiales más ocupados son: talco, magnesita, feldespato, carbonato, mica. (Gómez 2007, p. 11)

2.2.2.2 Materiales Orgánicos

Los materiales orgánicos sirven como un agente adhesivo o abrasivo que se utiliza para aglomerar la mezcla, esto se logra mediante el aumento de temperatura en estos materiales que los hace fundirse con el resto de los componentes. Dependiendo del tipo de material orgánico utilizado vamos a obtener diferentes propiedades físico- químicas. Los más ocupados suelen ser: resinas fenólicas, resinas epoxis, resinas termoplásticas, cauchos o ceras. (Gómez 2007, p. 12)

2.2.2.3 Lubricantes

Son utilizados como modificadores del coeficiente de fricción, el cual se encuentra en función del rango de temperatura en él se encuentre expuesto el material, por lo que a una mayor temperatura

el coeficiente de fricción disminuirá. Suelen ser ocupados los polvos de grafito, antracitas, sulfuros. (Gómez 2007, p. 11)

2.2.2.4 Metales

Los componentes metálicos ayudan a homogenizar el coeficiente de fricción, esto significa que sea el mismo en toda la estructura de la pastilla lo que evita que se tengan partes con un menor o mayor índice. Se ocupan generalmente a manera de polvo o viruta que suelen ser de cobre, bronce, aluminio, incluso hierro. (Gómez 2007, p. 11)

2.2.2.5 Fibras

Pueden ser consideradas como el armazón de las pastillas de frenos esto debido a que van a unir o aglutinar los demás componentes de la mezcla. Las fibras tienen dos orígenes que pueden ser mineral o sintético. Las más utilizadas para la elaboración de pastillas de frenos son: fibra de carbono, fibra de vidrio, lana de roca o fibras orgánicas. (Gómez 2007, p. 11)

2.2.2.6 Abrasivos

Aumentan el coeficiente de fricción, además de formar una capa intermedia dentro de la mezcla. Tenemos el óxido de aluminio como ejemplo. (Gómez 2007, p. 12)

2.2.3 Fabricación

El proceso de fabricación de pastillas de frenos a nivel internación está estandarizado, pero dependiendo del tipo de pastilla, fabricante y materiales utilizados para su composición, el proceso a variar, sin embargo los siguientes procesos son considerados como elementales: (Tamayo 2016, p. 60)

2.2.3.1 Proceso de mezclado

Este proceso cumple con la función de mezclar y unir de forma homogénea los componentes que van a formar la pastilla de freno. Para cada material a ser mezclado se debe considerar el tiempo que necesitara para lograr una mezcla, manteniendo sus propiedades. (Tamayo 2016, p. 60)

2.2.3.2 Prensado en caliente

El prensado en caliente tiene como función la de aglutinar los materiales, lo que se logra con la gran presión ejercida a alta temperatura, que reduce el volumen de la masa y ayuda a la resina a fundirse para fluir por todo el material uniendo los demás componentes en una sola masa homogénea. (Tamayo 2016, p. 61)

2.2.3.3 Curado

Tiene como propósito fundamenta la polimerización de las resinas para conseguir una compactación del material y va eliminando el contenido de volátiles que todavía existe. Para este proceso se debe establecer dos parámetros, la temperatura y el tiempo, las pastillas pasan por ciclos conforme varia la temperatura en un determinado tiempo establecido para cada ciclo (Tamayo 2016, p. 61)

2.2.3.4 Escorchado

La última fase de fabricación de la mezcla es el escorchado en donde se busca eliminar materiales orgánicos que aún persisten en la pastilla de freno mientras que la resina se grafitiza. (Tamayo 2016, p. 61)

2.2.3.5 Mecanizado

La fase de mecanizado es en donde se definirá las dimensiones que tendrán las pastillas de freno dependiendo de su aplicación. (Tamayo 2016, p. 62)

2.2.3.6 Puesta de accesorios

Esta fase depende del fabricante ya que los accesorios varían según el requerimiento de los mismo, los elementos o accesorios que pueden ser incluidos dentro de la pastilla son: muelles, avisadores de desgaste, etc. (Tamayo 2016, p. 62)

2.2.3.7 Marcado y estuchado

Se finaliza con la marcación designada acorde la estandarización y son empacadas para poderlas distribuir y venderlas (Tamayo 2016, p. 62)

2.3 Fibras

2.3.1 Fibras de cabuya

El nombre científico con que se denomina es “Furcraea Andina”, pero en la región se la conoce más con el nombre de cabuya la cual deriva de la palabra quechua “cháhuar”. Suelen estar presentes generalmente en las regiones de clima seco y templado por eso es fácil localizarla en países como Colombia, Ecuador, Perú, Bolivia entre otros.

Dentro de nuestro país dentro de la región sierra se puede encontrar la mayor cantidad de este tipo de plantas, sobresaliendo la provincia de Imbabura como cultivador de este tipo de plantas, aunque también se puede encontrar los lugares con presencia de pueblos indígenas como son Pichincha, Tungurahua, Cotopaxi, Riobamba, entre otros.

Los usos principales que se le pueden dar a la cabuya pueden ser para el área textil y una serie de artesanías como bolsas, sacos, sombreros, sogas. También se pueden aprovechar sus hojas como materia prima para la elaboración de jabones y detergentes, incluso para la alimentación del ganado bobino. Y con la fermentación de sus raíces se puede obtener un zumo agridulce.



Figura 10-2: Cabuya

Realizado por: (Duque 2012, p. 3)

2.3.1.1 Propiedades de la fibra de Cabuya

Las fibras obtenidas de la cabuya tienen una gran resistencia mecánica, además de un peso muy ligero y una densidad de 1,3 g/cm³. Debido a estas características el uso de estas para diversas industrias se ha extendido, siendo muy económica logra ser una excelente alternativa en muchos usos. Las siguientes tablas nos muestra a mejor detalle las propiedades mecánicas y químicas de la cabuya. (Duque 2012, p. 3)

Tabla 2-1: Características de diferentes fibras sintéticas y naturales

Fibra	Densidad (g/cm³)	Resistencia a la tracción (Mpa)	Módulo de elasticidad (Gpa)	Elongación a la fractura (%)
Cabuya	1.3	305.15	7.5	4.96

Fuente: (Duque 2012, p. 4)

Realizado por: (Duque, 2012)

También se presentan la composición química de la cabuya:

Tabla 3-2: Composición química de diversas fibras orgánicas

Fibra	Celulosa (%peso)	Lignina (%peso)	Pentosas (%peso)
Cabuya	62.7	15.5	17.7

Fuente: (Duque 2012, p. 4)

Realizado por: (Duque, 2012)

Como se pueden observar la fibra de cabuya sería una buena opción para la elaboración de materiales compuestos, debido a que sus buenas propiedades mecánicas y químicas como el alto porcentaje de celulosa que contribuiría a mejorar la resistencia mecánica del poliéster, que es la matriz termoestable más empleada en el país. La cabuya está clasificada como fibra dura y debido a su origen natural se utiliza principalmente en cordelería y la fabricación de sogas. Pero con las nuevas investigaciones se determinó su uso para la elaboración de elementos como: filtros, papel, tapetes, colchones, y tapicería. También se usa cada vez más para reforzar materiales compuestos de plástico, teniendo un uso particular para partes de automóviles. (Duque 2012, p. 5)

2.3.2 Fibra de vidrio

Se puede definir a la fibra de vidrio como un material compuesto por hilos de filamentos poliméricos, los cuales están constituidos por vidrio aglomerado con resinas y bastante menudos,

que están entrelazados para dar lugar a una estructura fuerte y versátil, que su uso esta extendido en varios campos industriales debido a sus amplios beneficios. (Fibras y Normas de Colombia, 2018)

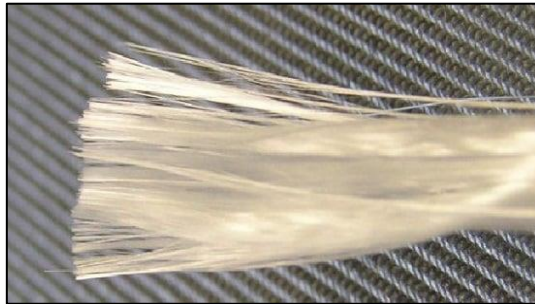


Figura 11-2: Fibra de vidrio

Realizado por: (Fibras y Normas de Colombia, 2018)

La fibra de vidrio resalta como material aislante y es utilizado como refuerzo de otros materiales, aun cuando no es tan fuerte como la fibra de carbono. Para la fabricación de estas fibras se logra a través de extracción de vidrio líquido, con una herramienta de carácter industrial conocido como “espinerette”, el cuál es bastante resistente y dispone de una forma agujerada para la producción de tales hilos. Luego de este proceso, se procede al enfriado para poder solidificar el entelado, lo que permite que este material sea lo suficientemente flexible para poder ejecutar un correcto entretejido. (Fibras y Normas de Colombia, 2018)

2.3.2.1 Propiedades de la fibra de vidrio

Resistencia química: La resistencia química de la fibra de vidrio se debe a que está compuesta por resina, el cuál es un material que le brinda resistencia durante intensos parámetros de erosión química. Consiguiendo que las fibras no se dañan ni se desgasta por más veces que se utilizada, debido a que son resistentes a la mayoría de los ácidos y químicos que son utilizados en las industrias y a las altas presiones y temperaturas, aun cuando puede parecer frágil. La fibra de vidrio también es bastante amigable con el medio ambiente, puesto que su utilización no requiere de productos químicos e infraestructuras contaminantes. (Fibras y Normas de Colombia, 2018)

Peso ligero: La fibra de vidrio tiene un bajo peso y es sumamente liviana debido a los materiales que la conforman, lo que brinda una movilización e instalación fácil y práctica. Tal holgura reduce el peso de soporte hacia las estructuras de apoyo. (Fibras y Normas de Colombia, 2018)

Económico: Su durabilidad como también su ergonomía, son 2 beneficios que señalan a la fibra de vidrio como un material con gran ventaja económica a nivel de rentabilidad. (Fibras y Normas de Colombia, 2018)

Tabla 4-2: Propiedades mecánicas de la fibra de vidrio

Fibra	Resistencia a la tracción (Gpa)	Resistencia específica (Gpa)	Densidad (g/cm3)	Módulo de elasticidad (Gpa)	Módulo específico (Gpa)
Fibra de vidrio	3.45	1.34	2.58	131	28.1

Fuente:(Coronel C, 2015)

Realizado por: (Coronel C, 2015)

2.4 Tribología

La tribología proviene del griego “fricción”, por lo que se puede considerar como la ciencia que se enfoca en la mecánica de contacto entre dos partes móviles de un mecanismo, que involucra una dispersión de energía en su interacción. Por lo tanto se puede la tribología se enfoca en los temas que tienen que ver con fricción, resistencia, desgaste, y diseño de superficies interactivas en movimiento relativo.(Brostow, Deborde y Jaklewicz 2003, p. 120)

2.4.1 Ensayo de Impacto o péndulo de Charpy

El ensayo de impacto o ensayo del péndulo de Charpy es un método que nos ayuda a calcular la tenacidad de un material al impacto.

La normativa que regula el ensayo de impacto es la ASTM E-23, la cual describe el proceso y dimensiones en los distintos tipos de probetas. Dicha norma hace referencia tanto a Charpy como a Izod y describe los métodos de ensayo para medir la energía absorbida por el espécimen roto. Para el ensayo Charpy las muestras utilizadas deben ser de tamaño pequeño. Para realizar el ensayo Charpy se debe realizar una entallada en la probeta a utilizar, la probeta será sujeta por ambos extremos (de manera horizontal), la cual será rota por el impacto del martillo en la parte contraria a la entalla. En la figura 2-12 se muestra la colocación de la muestra para el ensayo Charpy. (Gharagozlou Y, 2017)

Para el ensayo de materiales blandos se ha optado por el uso de un péndulo de la serie CEAST Torino que tiene un rango de medición de la energía absorbida desde los 0 J hasta los 15 J. Debido a las limitaciones del material, se optó por realizar muestras de tamaño estándar de probetas, las mismas que se indican en el anexo A3 de ASTM E23, para poner a prueba una muestra de tamaño más pequeño. Para acomodar la probeta en el péndulo se utilizó diferentes soportes. Los tamaños de las probetas utilizadas fueron de: 10mm de ancho, 10 mm de alto, 55 mm de profundidad, la entallada se la realiza en la mitad de la probeta y sus dimensiones son de 2mm de profundidad a 45 grados. Con la muestra apoyada en su lugar, cargamos la muestra

Charpy más pequeño y liberamos el martillo para producir el impacto. Lo datos que se obtienen durante el ensayo, son los de la energía absorbida durante la prueba mediante la lectura del panel analógico. Como alternativa, la serie SI se puede equipar con una unidad de adquisición de datos. (Gharagozlou Y, 2017)

Para la realización del ensayo se recomienda la revisión de la norma ASTM E-23, la que nos ayuda a entender completamente sus aplicaciones. Las instrucciones para probar pequeñas muestras Charpy se pueden encontrar en el anexo A3 de ASTM E23. (Gharagozlou Y, 2017)

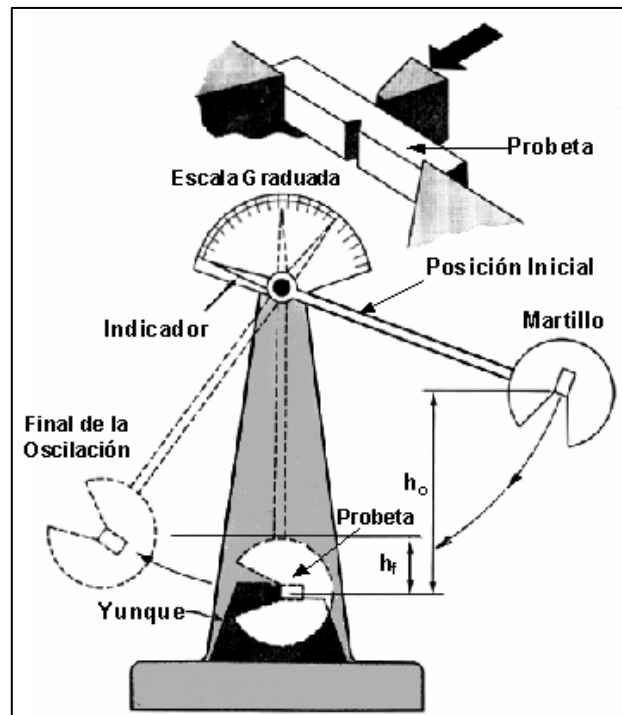


Figura 12-2: Péndulo de Charpy

Realizado por: (LNE, 2016)

2.4.2 *Ensayo pin on disk*

La norma que rige el ensayo Pin on disk es la ASTM G-99, la cual contiene los parámetros con los que se debe realizar el ensayo, así como las dimensiones de las probetas recomendadas. La máquina del tipo Pin-on-Disk (es decir, un perno sobre un disco), se describe como un equipo que se utiliza para estudiar la fricción y el desgaste entre materiales que interactúan mecánicamente entre sí. El funcionamiento del ensayo se basa en presionar un perno estacionario, al cual se le aplica una carga específica, sobre la superficie de un disco giratorio, lo cual se realiza por un determinado tiempo o a su vez por una distancia específica lo cual nos da como resultado una pérdida gradual de material (tasa de desgaste), a consecuencia de la acción del rozamiento entre ambas partes. (V. Martinenko et al., 2015)

Entre los resultados que se pueden obtener del ensayo se encuentra el desgaste que pueden ser expresado como pérdida de volumen en mm^3 tanto para el pin, como para el disco. También, se puede determinar la fuerza de rozamiento existente entre el par de materiales sujetos al ensayo, esto se logra con la incorporación de una celda de carga, que medirá la fuerza aplicada sobre el disco en todo el tiempo que dura el ensayo. Con estos parámetros y conociendo la fuerza de rozamiento (medida con la celda), y la carga normal (aplicada mediante pesas), se puede determinar el valor del coeficiente de rozamiento resultante, establecido este como el cociente entre la fuerza de rozamiento y la fuerza normal. (V. Martinenko et al., 2015)

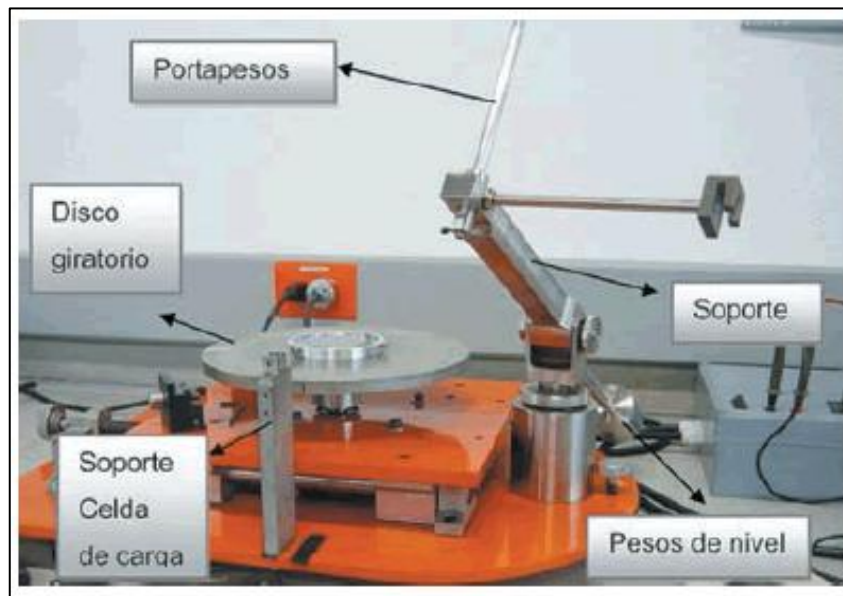


Figura 13-2: Composición de la maquina PIN ON DISK

Realizado por:(Barrachina, 2019)

Los usos que se puede dar a este equipo se extienden a:

- Calcular el coeficiente de rozamiento entre los materiales analizados, esto con los valores de fuerza tangencial y normal, determinada por los parámetros iniciales con lo que se va a realizar el ensayo.
- Estudiar el desgaste entre diferentes pares de materiales (metálicos, polímeros, cerámicos, materiales recubiertos).
- Evaluar la influencia de los líquidos (aceites, soluciones acuosas) sobre la fricción y las tasas de desgaste.

La importancia de determinar estos parámetros en la industria radica en poder ayudar a determinar la vida útil de piezas sometidas a desgaste, y también comparar la resistencia de distintos recubrimientos lo que ayudara a mejorar la resistencia d ellos materiales al desgaste entre dos elementos en contacto. (V. Martinenko et al. 2015)

2.4.3 Ensayo de Abrasión por medio de arena seca

Este ensayo está controlado por la norma ASTM G-65, al tratar sobre desgaste entre dos materiales en contacto. La base técnica del ensayo se basa en el desgaste abrasivo que es generado por las partículas duras (que provienen de la arena), que se introducen entre dos superficies más blandas, que entran en rozamiento mutuo. El material de las partículas abrasivas pueden ser las propias asperezas de la superficie o bien el producto del desgaste de estas; las que deben cortar y/o arrancar material de la superficie, lo que generara virutas y/o causando deformación plástica severa (superficial y subsuperficial). (Gutiérrez Quintero, Torres Sanabria y Olaya Florez, 2015)

Los tipos de desgaste que se pueden presentar en una superficie de una pieza de trabajo se clasifican en microarado, microfatiga, microcorte o microagrietamiento. El ensayo de desgaste abrasivo con arena seca y rueda de caucho “DSRW” (dry sand rubber wheel), que se muestra en la norma ASTM G-65, en la que se simula el desgaste de materiales por medio de partículas abrasivas de tamaño específico, en condiciones de bajo esfuerzo y abrasión por tres cuerpos. Los componentes principales del equipo son la tolva y una boquilla para el paso de la arena seca, también consta de una rueda de acero recubierta con caucho vulcanizado, para el control del flujo de carga se utiliza una palanca, porta-probeta y motor. La máquina está controlada por un de velocidad, el cual está conectado con un contador de revoluciones y un sistema de control. El flujo laminar de arena se produce entre el disco y la probeta y el mismo es constante a través de la boquilla que deja pasar las partículas. La arena es presionada por medio de la palanca con una fuerza constante y definida. La dirección de rotación del disco tendrá el mismo sentido que el flujo de arena. (Gutiérrez Quintero, Torres Sanabria y Olaya Florez, 2015)

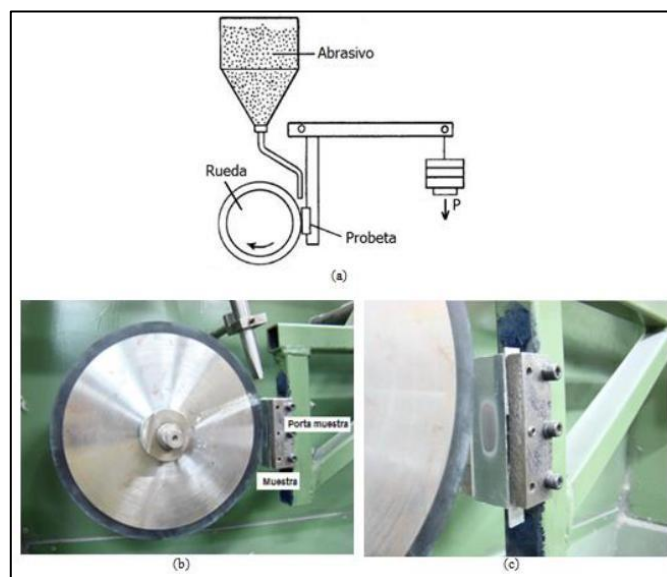


Figura 14-2: Máquina de desgaste por abrasión con arena seca

Realizado por: (Castro et al. 2015)

Las variables que afectan al ensayo son la velocidad, tiempo, carga y dureza del material, cuando la fuerza y velocidad de deslizamiento se incrementan también lo hace la tasa de desgaste, sin embargo, con la dureza sucede lo contrario. El aumento de temperatura por fricción facilita la formación de una película de óxidos generalmente frágiles, la velocidad elevada y humedad excesiva de la arena también lo hacen, también existen variables propias del material que influyen en el desgaste como la rugosidad de la muestra, dureza, tenacidad a la fractura, estructura cristalina, elementos de aleación y tamaño de las partículas. Las tasas de desgaste es una combinación entre el medio ambiente y los materiales a ensayar, lo que se conoce como tribosistema. (Gutiérrez Quintero, Torres Sanabria y Olaya Florez, 2015)

2.4.4 *Ensayo de Dureza Brinell*

La máquina que se utiliza para la realización de los ensayos de dureza Brinell es llamada durómetro, que es el tipo de máquina empleada para medir la dureza de los materiales.



Figura 15-2: Máquina de dureza Brinell

Realizado por: (Kirnosov V 2013)

Esta máquina tiene la función de sujetar la probeta que se vaya a ensayar, a la vez que se le aplica la carga (P) mediante el empleo de un indentador (la bola de acero), durante un determinado tiempo (t). Como resultado del ensayo, el indentador va a dejar una huella sobre la superficie de la probeta, que según su tamaño servirá para poder calibrar la dureza del material. (ingemecanica, 2018)

De manera genérica y resumida, los pasos a seguir para llevar a cabo el ensayo de dureza son:

1. Preparación de la pieza o probeta a ensayar: limpiar, aplanar y pulir.

2. Colocación de la base de sujeción sobre la que se colocará la probeta.
3. Establecimiento del nivel de la carga adecuada que hay que aplicar sobre la probeta.
4. Colocación del indentador adecuado al tamaño de la probeta.
5. Regulación del tiempo de aplicación de la carga.
6. Posteriormente, se acerca el indentador a ras sobre la superficie de la probeta.
7. Aplicamos la carga durante el tiempo estipulado.
8. Transcurrido este tiempo se quita la carga.
9. Se mide la superficie de la huella creada en la superficie de la probeta para obtener el valor de su dureza.

El elemento empleado para la realización del ensayo es una bola de acero templado, o una bola de carburo de tungsteno que son para los materiales más duros cuya dureza Brinell se presuponga que vaya a resultar superior a los 400 HB. El tamaño de la bola indentadora se elegirá en función del espesor de la probeta a ensayar. (ingemecánica, 2018)

La siguiente tabla muestra los diámetros (D).

Tabla 5-2: Diámetro de la bola indentadora

Espesor de la probeta (mm)	Diámetro de la bola, D (mm)
Mayor de 6mm	10
Entre 3 y 6 mm	5
Menor de 3mm	2.5
	1.25
	0.625

Fuente: (ingemecanica, 2018)

Realizado por: Hermenegildo Rodríguez Galbarro, 2018

Cuando se determina el diámetro (D), de la bola indentadora que se debe que utilizar en el ensayo haciendo uso de la tabla anterior, se sigue a determinar el valor de la carga (P), que hay que aplicar. El proceso de ejecución del ensayo es aplicar la carga lentamente hasta alcanzar el valor determinado y se mantiene así constante durante un cierto tiempo (t), cuyo valor se verá más adelante cómo calcularlo. (ingemecanica 2018)

El valor de la carga (P), se obtiene con la siguiente fórmula: $P = K \cdot D^2$

Siendo D el diámetro de la bola indentadora y K una constante que depende del tipo de material a ensayar. En la siguiente tabla se indican los valores usuales de esta constante para distintos materiales. (ingemecanica, 2018)

Tabla 6-2: Valores usuales de K para distintos materiales

Material	K
Hierros y aceros	30
Cobre, bronce y latón	10
Aleaciones ligeras	5
Estaño y plomo	2.5
Metales muy blandos	1.25-0.5

Fuente: (ingemecanica, 2018)

Realizado por: Hermenegildo Rodríguez Galbarro,2018

Al final sólo falta determinar el tiempo (t), durante el cual hay que aplicar la carga en el ensayo. El valor de (t), también dependerá del material de la probeta a ensayar, en relación en cuanto más blando sea el material para ensayar más tiempo de aplicación de la carga resultará.(ingemecanica, 2018)

En la siguiente tabla se indican los tiempos (t) de duración del ensayo en función del material a ensayar:

Tabla 7-2: Los tiempos (t) de duración del ensayo en función del material

Material	Tiempo, t
Hierros y aceros	10 a 30 segundos
Cobre, bronce y latón	30 segundos
Aleaciones ligeras	60 a 120 segundos
Estaño y plomo	120 segundos
Metales muy blandos	120 segundos

Fuente: (ingemecanica, 2018)

Realizado por: Hermenegildo Rodríguez Galbarro,2018

Se procede a medir el diámetro de la huella que ha dejado el indentador (la bola), en la superficie de la probeta. El valor de la dureza entonces resultará como el cociente entre la carga (P) y la superficie (S) de la huella del casquete esférico que resulta.(ingemecanica, 2018)

$$HB = P / S$$

Para información del lector, algunos valores orientativos de la dureza Brinell (HB) se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 8-2: Dureza de distintos materiales

Material	Dureza Brinell, HB
Acero de herramientas templado	500
Acero dulce (0.80% de carbono)	210
Acero dulce (0.10% de carbono)	110
Bronce	100
Latón	50
Aluminio	25-30

Fuente: (ingemecanica, 2018)

Realizado por: Hermenegildo Rodríguez Galbarro, 2018

Sin embargo, en la práctica se utiliza la siguiente formulación de trabajo más simplificada:

$$HB = \frac{2P}{\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

Ecuación 1-2: Formula de Dureza Brinell

Realizado por: (ingemecanica 2018)

donde,

P es la carga para utilizar en el ensayo, medida en kp.

D es el diámetro de la bola (indentador) medida en mm.

d es el diámetro medio de la huella creada en la superficie de la probeta, en mm.

2.5 Hipótesis

Afirmación relativa a un parámetro de la población sujeta a verificación. (Lind, Marchal y Wathen 2012, p. 335)

2.5.1 Prueba de hipótesis

Procedimiento basado en evidencia de la muestra y la teoría de la probabilidad para determinar si la hipótesis es una afirmación razonable. (Lind, Marchal y Wathen 2012, p. 335)

2.5.2 Procedimiento para probar una hipótesis

Existe un procedimiento de cinco pasos que sistematiza la prueba de una hipótesis; al llegar al paso 5, se está en posibilidades de rechazar o no la hipótesis. Se muestra los pasos.(Lind, Marchal y Wathen 2012, p. 335)

1. Se establecen las hipótesis
2. Se selecciona un nivel de significancia
3. Se identifica el estadístico de la prueba
4. Se formula una regla de decisión
5. Se llega a la decisión

2.5.2.1 Paso 1: Se establecen hipótesis nula y alternativa

Hipótesis nula: Enunciado relativo al valor de un parámetro poblacional que se formula con el fin de probar evidencia numérica.(Lind, Marchal y Wathen 2012, p. 336)

Hipótesis alternativa: Enunciado que se acepta si los datos de la muestra ofrecen suficiente evidencia para rechazar la hipótesis nula.(Lind, Marchal y Wathen 2012, p. 336)

2.5.2.2 Paso 2: Se selecciona un nivel de significancia

Es la probabilidad de rechazar la hipótesis nula cuando es verdadera.(Lind, Marchal y Wathen 2012, p. 337)

No existe ningún nivel de significancia que se aplique a todas las pruebas. Se toma la decisión de utilizar el nivel de 0.05 (expresado con frecuencia como nivel de 5%), nivel de 0.01, nivel de 0.10 o cualquier otro nivel entre 0 y 1. Se acostumbra a elegir el nivel de 0.05 en el caso de los proyectos de investigación relacionados con los consumidores; el nivel de 0.01 en relación con el del control de calidad, y el de 0.10 en el de las encuestas políticas. Usted, como investigador, debe elegir el nivel de significancia antes de formular una regla de decisión y recopilar los datos de la muestra.(Lind, Marchal y Wathen 2012, p. 337)

2.5.2.3 Paso 3: Selección del estadístico de prueba

Es un valor, determinado a partir de la información de la muestra, para determinar si se rechaza la hipótesis nula. (Lind, Marchal y Wathen 2012, p. 338)

Desviaciones estándares poblacionales iguales

Es un método para comparar las medias muestrales de dos poblaciones independientes y determinar si las poblaciones muestreadas pueden tener, de forma razonable, la misma media. Dicho método no requiere que se conozcan las desviaciones estándares de las poblaciones. Esto proporciona más flexibilidad cuando se investiga la diferencia entre las medias de las muestras. (Lind, Marchal y Wathen 2012, p. 383)

- Las poblaciones muestreadas tienen desviaciones estándares iguales pero desconocidas. Debido a esta suposición, las desviaciones estándares de las muestras se combinan, o “agrupan”. (Lind, Marchal y Wathen 2012, p. 383)
- Se utiliza la distribución t como el estadístico de prueba. (Lind, Marchal y Wathen 2012, p. 383)

La fórmula para determinar el valor del estadístico de prueba t es necesario un cálculo adicional. Las dos desviaciones estándares de las muestras se agrupan para formar una sola estimación de la desviación estándar desconocida de la población. (Lind, Marchal y Wathen 2012, p. 383)

$$\text{Varianza conjunta: } s_p^2 = \frac{(n_1 - 1) * s_1^2 + (n_2 - 1) * s_2^2}{n_1 + n_2 - 2}$$

Ecuación 2-1: Varianza conjunta

Realizado por: (Lind, Marchal y Wathen 2012, p. 383)

donde:

S_1^2 es la varianza (desviación estándar elevada al cuadrado) de la primera muestra.

S_2^2 es la varianza de la segunda muestra.

El valor de t se calcula a partir de la ecuación siguiente.

$$\text{Prueba de medias de dos muestras: } t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{s_p^2 \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)}}$$

Ecuación 3-2: Cálculo de t calculado

Realizado por: (Lind, Marchal y Wathen 2012, p. 383)

donde:

\bar{X}_1 es la media de la primera muestra.

\bar{X}_2 es la media de la segunda muestra.

\bar{n}_1 es el número de observaciones en la primera muestra.

\bar{n}_2 es el número de observaciones en la segunda muestra.

\bar{S}_p es la estimación conjunta de la varianza de la población.

Grados de libertad

El número de grados de libertad de la prueba es el número total de elementos muestreados menos el número total de muestras. Como hay dos muestras, hay $n_1 + n_2 - 2$ grados de libertad. estándares de las dos poblaciones son iguales. (Lind, Marchal y Wathen 2012, p. 384)

2.5.2.4 Paso 4: formulación de la regla de decisión

Una regla de decisión es un enunciado sobre las condiciones específicas en que se rechaza la hipótesis nula y aquellas en las que no se rechaza. La región o área de rechazo define la ubicación de todos esos valores que son tan grandes o pequeños que la probabilidad de que ocurran en una hipótesis nula verdadera es muy remota. (Lind, Marchal y Wathen 2012, p. 338)

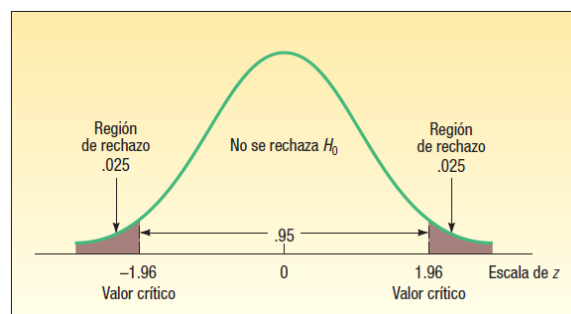


Figura 16-2: Regiones de aceptación y rechazo de una prueba de dos colas

Realizado por: (Lind, Marchal y Wathen 2012, p. 338)

Observe lo siguiente en la gráfica:

- El área en que se acepta la hipótesis nula se localiza entre los valores críticos de 1.65 y -1.65
- El área de rechazo se encuentra a la derecha de 1.65 y a la izquierda de 1.65
- Se aplica una prueba de dos colas
- Se eligió el nivel de significancia de 0.05.
- La distribución muestral del estadístico t tiene una distribución normal.

Valor crítico: Punto de división entre la región en que se rechaza la hipótesis nula y aquella en la que se acepta. (Lind, Marchal y Wathen 2012, p. 339)

2.5.2.5 Paso 5: Se toma una decisión

El quinto y último paso en la prueba de hipótesis consiste en calcular el estadístico de la prueba, comparándola con el valor crítico, y tomar la decisión de rechazar o no la hipótesis nula. (Lind, Marchal y Wathen 2012, p. 339)

CAPÍTULO III

3. DISEÑO Y EXPERIMENTACIÓN

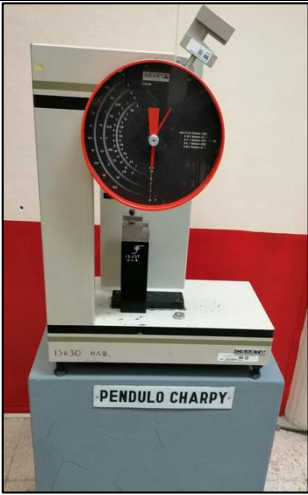


3.1 Introducción

En el presente capítulo se describe la elaboración de las probetas con fibras de cabuya y vidrio trenzado, para su análisis por medio de ensayos mecánicos y tribológicos. Para lo cual se empieza describiendo las distintas máquinas y herramientas utilizadas para la elaboración de más muestras y posterior análisis tribológico. Seguidamente se muestra el proceso de mecanizado del molde y la tapa, empleando el proceso CNC, también se explica la fabricación de las probetas con los dos tipos de fibras, su composición química y porcentajes de cada material. Finalmente se muestran los pasos para la realización de los ensayos los cuales se basan en las normas ASTM G-65 desgaste por medio de arena seca, ASTM G-99 desgaste pin on disk, ASTM E-23 ensayo de impacto o péndulo de Charpy, ASTM E-10 ensayo de dureza Brinell, para llevar a cabo siguiendo los parámetros correspondientes a cada uno, y finalmente obtener los resultados permitirán verificar si existe o no variación entre las probetas de fibra de vidrio y cabuya con respecto a los valores de las pastillas comerciales.

3.2 Materiales y métodos

3.2.1 *Materiales*

Los materiales y máquinas que se ocuparon para la elaboración de las probetas y los ensayos tribológicos y mecánicos se describen en la siguiente tabla a continuación:

HERRAMIENTA /MAQUINA	MODELO	DESCRIPCIÓN
Péndulo Charpy		<p>Se utiliza en ensayos para determinar la tenacidad de un material. El péndulo cae sobre la entalla de la probeta y la parte. En estricto rigor se mide la energía absorbida en el área debajo de la curva de carga, desplazamiento que se conoce como resiliencia. («Péndulo de Charpy» 2019)</p>
Durómetro Brindell		<p>Es el que se emplea para determinar la dureza de un material mediante la penetración en él de una esfera o bola de acero templado de determinado diámetro en la superficie que se ensaya, bajo una carga dada y tiempo. (Kirnosov, V. 2013)</p>
Tribómetro de desgaste por arena seca		<p>La máquina que se utilizó para la realización del ensayo fue la especificada en la norma ASTM G-65, la misma que cumple con todos los parámetros de funcionamiento establecidos en la misma.</p>

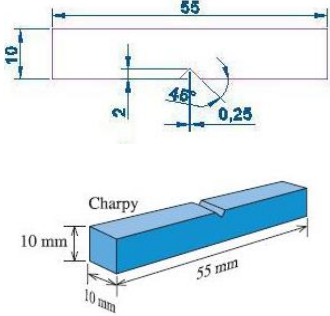
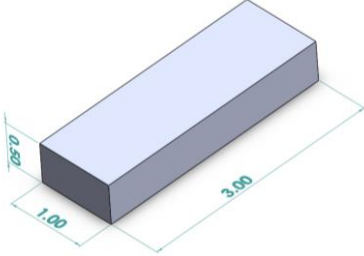

<p>Tribómetro pin on disk</p>		<p>Equipo adecuado para la realización de ensayos de desgaste mediante el contacto y rozamiento de dos materiales entre sí, uno en forma de disco y otro en forma de varilla o bola. Los parámetros a tener en cuenta son la velocidad, tiempo, carga y temperatura. (Josep Antón Picas Barrachina 2019)</p>
<p>Mufla</p>		<p>Una mufla es una cámara cerrada construida con materiales refractarios. La misma esta compuesta de una puerta por la que se accede al interior de la cámara de cocción, en la que existe un pequeño orificio de observación. El horno puede alcanzar temperaturas mayores a 200 °C. (TP - Laboratorio Químico 2019)</p>
<p>Fresadora CNC</p>		<p>Las fresadoras CNC son muy similares a las convencionales y poseen las mismas partes móviles. La diferencia radica en que la misma esta automatizada para funcionar por medio de un control electrónico, el que se encarga del control de los diferentes ejes y de la rotación del elemento mecanizado. (De Maquinas y Herramientas 2019)</p>

Pirómetro		<p>Un pirómetro es un dispositivo capaz de medir la temperatura de una sustancia sin necesidad de estar en contacto con ella. («Pirómetro» 2019)</p>
Balanza Digital		<p>Las balanzas digitales son instrumentos de pesaje de funcionamiento no automático que utilizan la acción de la gravedad para determinación de la masa. (Femto 2019)</p>
Calibrador Pie de Rey Universal		<p>Es un instrumento de medición, principalmente de diámetros exteriores, interiores y profundidades, utilizado en el ámbito industrial. El vernier es una escala auxiliar que se desliza a lo largo de una escala principal para permitir en ella lecturas fraccionales exactas de la mínima división. («Calibrador» 2019)</p>

3.2.2 Métodos

Los métodos que se utilizarán durante las pruebas mecánicas y tribológicas de las probetas se basan en normas internacionales estandarizadas, las cuales detallan las dimensiones que deben poseer y las condiciones en las que se deben realizar las pruebas.

Tabla 1-3: Tipos y dimensiones de probetas según sus normas

ENSAYO	DIMENSIONES DE LAS PROBETAS	VARIABLES DE FUNCIONAMIENTO
<p>Norma ASTM E-23 Ensayo de Chapy</p>	<p>Unidades en milímetros</p> 	<p>Es un ensayo destructivo que da los valores de absorción de energía antes de la fractura.</p> <p>Carga del martillo: 2 J</p> <p>Numero de probetas: 15</p> <p>Probetas tipo A</p>
<p>ASTM G 65-04 Standard test method for measuring abrasion using the dry sand/rubber wheel apparatus.</p>	<p>Unidades en pulgadas</p> 	<p>Tipo de ensayo: B</p> <p>Caudal: 400 gr/min</p> <p>Tiempo 5 minutos</p> <p>Velocidad: 200rpm</p> <p>Contrapeso: 45N</p> <p>Material abrasivo: Arena de sílice de grano AFS (50 –70)</p>
<p>ASTM G 99 Standard Test Method for Wear Testing with a Pin-on-Disk Apparatus</p>	<p>Las dimensiones son en mm</p> 	<p>Fuerza normal aplicada: 22,5 N</p> <p>Distancia: 500 m</p> <p>Radio de ensayo: 18mm</p> <p>Velocidad: 560 rpm</p>
<p>ASTM E-10 Método de prueba estándar para la dureza Brinell</p>	<p>Las probetas utilizadas fueron las mismas que para el ensayo ASTM G-65</p>	<p>Carga aplicada: 31.2 Kgf</p> <p>Diámetro de la esfera: 5mm</p> <p>Tiempo: <30 s</p> <p>La velocidad es determinada por la máquina.</p>

Realizado por: Autores

3.2.3 Codificación de probetas según el material

Para cuestiones técnicas se opta por la codificación de las probetas según su composición, el número de probetas usadas para cada ensayo serán cinco, por lo que la se codifica de la siguiente manera:

Tabla 2-3: Codificación de probetas según el material

Texto	Codificación
Probetas con fibra de amianto	PA
Probeta con fibra de vidrio	PFV
Probeta con fibra de cabuya	PFC
Probeta 1 con fibra de amianto	PA-I
Probeta 2 con fibra de amianto	PA-II
Probeta 3 con fibra de amianto	PA-III
Probeta 4 con fibra de amianto	PA-IV
Probeta 5 con fibra de amianto	PA-V
Probeta 1 con fibra de vidrio	PFV-I
Probeta 2 con fibra de vidrio	PFV-II
Probeta 3 con fibra de vidrio	PFV-III
Probeta 4 con fibra de vidrio	PFV-IV
Probeta 5 con fibra de vidrio	PFV-V
Probeta 1 con fibra de cabuya	PFC-I
Probeta 2 con fibra de cabuya	PFC-II
Probeta 3 con fibra de cabuya	PFC-III
Probeta 4 con fibra de cabuya	PFC-IV
Probeta 5 con fibra de cabuya	PFC-V

Realizado por: Autores

3.3 Preparación de las probetas

3.3.1 Elaboración de un molde para probetas

Se diseño un molde de aluminio y una tapa de madera con las dimensiones de las probetas con ayuda de programas CAD CAM como se muestra en el ANEXO A y ANEXO B respectivamente.

Se compró y se mecanizó el molde según las dimensiones del diseño.



Figura 1-3: Bloque de aluminio

Realizado por: Autores



Figura 2-3: Mecanizado del molde de las probetas

Realizado por: Autores



Figura 3-1: Molde terminado

Realizado por: Autores

Se elaboró la tapa del molde según las dimensiones del diseño

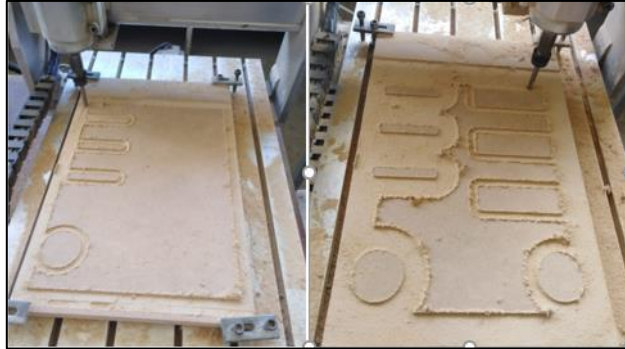


Figura 4-3: Mecanizado de la tapa

Realizado por: Autores

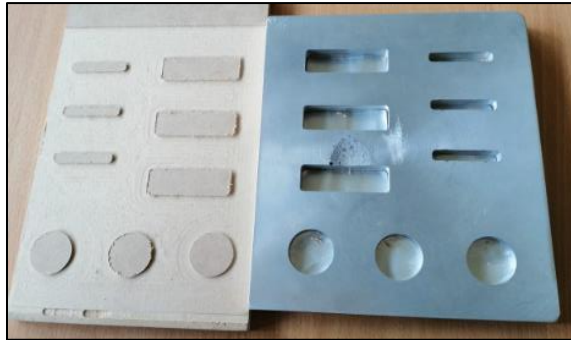


Figura 5-3: Tapa Terminada

Realizado por: Autores

3.3.2 Preparación de mezcla

3.3.2.1 Cálculo del volumen total de todas las probetas:

Volumen de las 3 probetas para el ensayo de impacto:

$$V_1 = b_1 * h_1 * H_1 * 3$$

$$V_1 = 10mm * 59mm * 12mm * 3$$

$$V_1 = 2124mm^3 = 21.24 cm^3$$

Donde:

- b_1 = longitud corta
- h_1 = longitud larga
- H_1 = Altura o espesor
- V_1 = Volumen de las 3 probetas para el ensayo de impacto

Volumen de las 3 probetas para el ensayo de desgaste por abrasión:

$$V_2 = b_2 * h_2 * H_2 * 3$$
$$V_2 = 25.4mm * 80mm * 14.7mm * 3$$
$$V_2 = 8983.5mm^3 = 89.835 cm^3$$

Donde:

- $b_2 =$ longitud corta
- $h_2 =$ longitud larga
- $H_2 =$ Altura o espesor
- $V_2 =$ Volumen de las 3 probetas para el ensayo de desgaste por abrasión

Volumen de las 3 probetas para el ensayo de coeficiente de fricción:

$$V_3 = \pi * R^2 * H_3 * 3$$
$$V_3 = 3.1416mm * (20mm)^2 * 8mm * 3$$
$$V_3 = 3015.9mm^3 = 30.159 cm^3$$

Donde:

- $R =$ Radio
- $H_3 =$ Altura o espesor
- $V_3 =$ Volumen de las 3 probetas para el ensayo de coeficiente de fricción

$$\text{Volumen total} = V_1 + V_2 + V_3$$
$$\text{Volumen total} = 21.24 cm^3 + 89.835 cm^3 + 30.159 cm^3$$
$$\text{Volumen total} = V_T = 141.23cm^3$$

3.3.2.2 Cálculo del porcentaje de masa de los diferentes componentes de las probetas

Estos cálculos se basan con los datos de porcentajes de los componentes que constituyen una pastilla y las densidades de dichos componentes como se observa en la siguiente tabla:

Para el caso de la fibra de cabuya como sustituyente del amianto:

Tabla 3-1: Porcentajes y densidades de los componentes de una pastilla con la fibra de cabuya sustituyendo al amianto

Materiales	Porcentaje	Densidades (g/cm³)
Resina fenólica	30%	1,25
Alúmina	10%	3,95
Talco	20%	2,75
Grafito	15%	2,15
Fibra de Cabuya	15%	1,3
Aluminio	3%	2,7
Cobre	7%	8,96

Realizado por: Autores

Para el caso de la fibra de vidrio como sustituyente del amianto:

Tabla 4-3: Porcentajes y densidades de los componentes de una pastilla con la fibra de vidrio sustituyendo al amianto

Materiales	Porcentaje	Densidades (g/cm³)
Resina fenólica	30%	1,25
Alúmina	10%	3,95
Talco	20%	2,75
Grafito	15%	2,15
Fibra de Vidrio	15%	2,46
Aluminio	3%	2,7
Cobre	7%	8,96

Realizado por: Autores

- **Cálculo de masa para la resina fenólica:**

$$M_{RF} = V_T * \text{Porcentaje} * \text{Densidad}$$

$$M_{RF} = 141.23 \text{ cm}^3 * 0.30 * 1.25 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

$$M_{RF} = 52.96 \text{ g}$$

Nota: Se toma un 10% adicional a la masa por errores

$$M_{RF} = 52.96 \text{ g} + (0.1 * 52.96 \text{ g})$$

$$M_{RF} = 58.3 \text{ g}$$

- **Cálculo de masa para la alúmina:**

$$M_{Al} = V_T * \text{Porcentaje} * \text{Densidad}$$

$$M_{Al} = 141.23 \text{ cm}^3 * 0.10 * 3.95 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

$$M_{Al} = 55.79 \text{ g}$$

Nota: Se toma un 10% adicional a la masa por errores

$$M_{Al} = 55.79 \text{ g} + (0.1 * 55.79\text{g})$$

$$M_{Al} = 61.4 \text{ g}$$

- **Cálculo de masa para el talco:**

$$M_{Ta} = V_T * \text{Porcentaje} * \text{Densidad}$$

$$M_{Ta} = 141.23\text{cm}^3 * 0.20 * 2.75 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

$$M_{Ta} = 77.68 \text{ g}$$

Nota: Se toma un 10% adicional a la masa por errores

$$M_{Ta} = 77.68 \text{ g} + (0.1 * 77.68 \text{ g})$$

$$M_{Ta} = 85.4 \text{ g}$$

- **Cálculo de masa para el grafito:**

$$M_{Gra} = V_T * \text{Porcentaje} * \text{Densidad}$$

$$M_{Gra} = 141.23\text{cm}^3 * 0.15 * 2.15 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

$$M_{Gra} = 45.55 \text{ g}$$

Nota: Se toma un 10% adicional a la masa por errores

$$M_{Gra} = 45.55 \text{ g} + (0.1 * 45.55 \text{ g})$$

$$M_{Gra} = 50.1 \text{ g}$$

- **Cálculo de masa para el aluminio:**

$$M_A = V_T * \text{Porcentaje} * \text{Densidad}$$

$$M_A = 141.23\text{cm}^3 * 0.03 * 2.7 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

$$M_A = 11.43 \text{ g}$$

Nota: Se toma un 10% adicional a la masa por errores

$$M_A = 11.43 \text{ g} + (0.1 * 11.43 \text{ g})$$

$$M_A = 12.6 \text{ g}$$

- **Cálculo de masa para el cobre:**

$$M_{Cu} = V_T * \text{Porcentaje} * \text{Densidad}$$

$$M_{Cu} = 141.23\text{cm}^3 * 0.07 * 8.96 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

$$M_{Cu} = 88.58 \text{ g}$$

Nota: Se toma un 10% adicional a la masa por errores

$$M_{Cu} = 88.58 \text{ g} + (0.1 * 88.58 \text{ g})$$

$$M_{Cu} = 97.4 \text{ g}$$

- **Cálculo de masa para la fibra de vidrio:**

$$M_{FV} = V_T * \text{Porcentaje} * \text{Densidad}$$

$$M_{FV} = 141.23 \text{ cm}^3 * 0.15 * 2.46 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

$$M_{FV} = 52.1 \text{ g}$$

Nota: Se toma un 10% adicional a la masa por errores

$$M_{FV} = 52.1 \text{ g} + (0.1 * 52.1 \text{ g})$$

$$M_{FV} = 57.3 \text{ g}$$

- **Cálculo de masa para la fibra de cabuya:**

$$M_{FC} = V_T * \text{Porcentaje} * \text{Densidad}$$

$$M_{FC} = 141.23 \text{ cm}^3 * 0.15 * 1.3 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

$$M_{Cu} = 27.54 \text{ g}$$

Nota: Se toma un 10% adicional a la masa por errores

$$M_{FC} = 27.54 \text{ g} + (0.1 * 27.54 \text{ g})$$

$$M_{FC} = 30.3 \text{ g}$$

Tabla resumida de los datos de masa:

Cantidad de los componentes en gramos para las probetas de fibra de cabuya:

Tabla 5-3: Masa de los componentes de la pastilla con la fibra de cabuya sustituyendo al amianto

Materiales	Masa de los componentes (gramos)
Resina fenólica	58,3
Alúmina	61,4
Talco	85,4
Grafito	50,1
Fibra de Cabuya	30,3
Aluminio	12,6
Cobre	97,4

Realizado por: Autores

Cantidad de los componentes en gramos para las probetas de fibra de vidrio:

Tabla 6-3: Masa de los componentes de la pastilla con la fibra de vidrio sustituyendo al amianto

Materiales	Masa de los componentes (gramos)
Resina fenólica	58,3
Alúmina	61,4
Talco	85,4
Grafito	50,1
Fibra de Vidrio	57,3
Aluminio	12,6
Cobre	97,4

Realizado por: Autores

3.3.2.3 Mezcla de los componentes, colocación de la mezcla en el molde y cocción de las probetas

Se realiza la mezcla de los componentes con ayuda de una cuchilla de batidora y el taladro



Figura 6-3: Mezcla de los componentes

Realizado por: Autores

Una vez que se realizó la mezcla se coloca en el molde



Figura 7-3: Colocación de la mezcla

Realizado por: Autores



Figura 8-3: Colocación de la mezcla con la fibra de vidrio

Realizado por: Autores



Figura 9-3: Colocación de la mezcla con la fibra de cabuya

Realizado por: Autores

Se coloca una presión de 300 bares



Figura 10-3: Compresión de la mezcla a 220 bares

Realizado por: Autores



Figura 11-3: Mezcla comprimida

Realizado por: Autores

Realizado la mezcla se coloca en la mufla por un tiempo de 8 horas a 220°C y luego 10 hora para el enfriamiento en la misma mufla, pero apagada.

Nota:

- Pasado 2 horas de cocción se retira el molde y se vuelve a prensar
- Se debe estar controlando la temperatura con ayuda del pirómetro



Figura 12-3: Colocación del molde en la mufla

Realizado por: Autores

Se pasa al proceso de prensado en caliente para lo cual se saca el molde de la mufla para llevarlo a la prensa.



Figura 13-3: Retiro del molde dentro de 2 horas

Realizado por: Autores



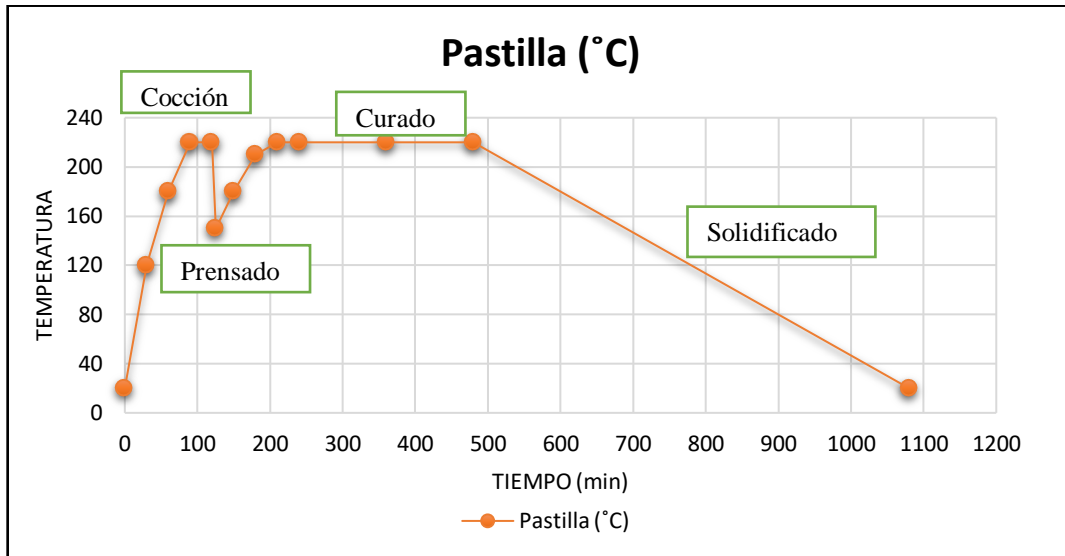
Figura 14-3: Prensado en caliente

Realizado por: Autores

Tabla 7-3: Control de la temperatura según el tiempo transcurrido

Tiempo (min)	Horno (°C)	Molde (°C)	Pastilla (°C)
0	220	20	20
30	220	100	120
60	220	120	180
90	220	160	220
120	220	290	220
125	140	150	150
150	160	180	180
180	190	200	210
210	220	220	220
240	220	220	220
360	220	220	220
480	220	220	220
1080	20	20	20

Realizado por: Autores



Gráfica 1-3: Control de la temperatura según el tiempo transcurrido

Realizado por: Autores



Figura 15-3: Control de la temperatura

Realizado por: Autores

3.3.2.4 Extracción de las probetas

Ya terminado la cocción de las probetas se procede a la extracción de estas con cuidado.

Este paso se lo realiza con ayuda de la prensa hidráulica a la cual se le posicionan guías que estarán colocadas en los agujeros para empujar la placa en la base de las probetas, que a medida que aumenta la fuerza se comenzarán a despegar del molde.



Figura 16-3: Extracción de la probeta

Realizado por: Autores

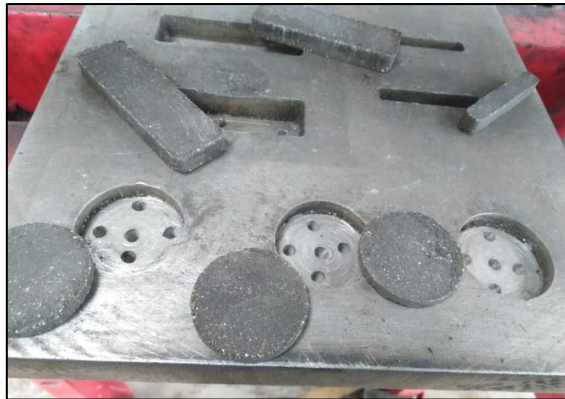


Figura 17-3: Probetas extraídas

Realizado por: Autores

3.4 Procedimientos de los Ensayos Tribológicos

3.4.1 Ensayo de Impacto o Péndulo de Charpy

La máquina que se utilizó para la realización del ensayo fue un péndulo de impacto CEAST del cual está diseñado para la elaboración de pruebas de materiales no tan resistentes como son termoplásticos, cerámicos, entre otros. Debido a esto su escala de medición varía entre los 0 Jules hasta los 25 Jules.



Figura 18-3: Péndulo De Charpy CEAST

Realizado por: Autores

Las probetas que se utilizaron durante el ensayo fueron divididas por su composición por lo cual se tubo cinco muestras de cada una con las cuales se procederá a hacer los análisis comparativos de los resultados más adelante. Para el ensayo se muestran cinco probetas con fibra de Cabuya las cuales se nominaron con C-I, C-II, C-III, C-IV, C-V. Las probetas que contienen fibra de vidrio de nominaron V-I, V-II, V-III, V-IV, V-V. Y finalmente las probetas con amianto A-I, A-II, A-III, A-IV, A-V.



Figura 19-3: Probetas Normadas para ensayo de Charpy

Realizado por: Autores

El procedimiento seguido para el ensayo de impacto o péndulo de Charpy fue el siguiente:

1. Medir las dimensiones de cada una de las probetas para poder calcular posteriormente los valores de la energía absorbida por cada una durante el impacto en el ensayo.

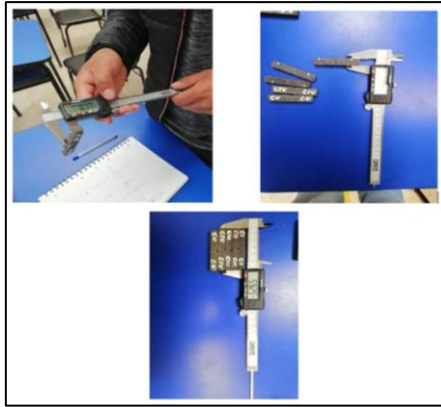


Figura 20-3: Medición de las probetas

Realizado por: Autores

2. Colocar el martillo que se ajusta a las condiciones del ensayo. Para este ensayo se optó por utilizar el martillo de energía de 2 Jules.



Figura 21-3: Cambio del martillo de 2 Jules

Realizado por: Autores

3. Subir el martillo a su parte más alta y luego colocar el seguro que lo sostendrá en forma estática, hasta que se realice el ensayo.
4. Colocar la probeta en el soporte de la base inferior, se toma en cuenta que la posición de la muesca realizada quede del lado correcto ya que de lo contrario el ensayo no dará valores correctos.



Figura 22-3: Ubicación de la probeta en la base inferior

Realizado por: Autores

5. Soltar el seguro que sostiene al martillo para que este descienda e impacte con la probeta.
6. Observar los valores obtenidos que se muestran en la parte del reloj, y anotarlos para el cálculo de la energía absorbida de la probeta.



Figura 23-3: Toma de resultados de resistencia

Realizado por: Autores

7. Repetir los pasos del 3 a 6 para el ensayo de las demás probetas.

Al final de los ensayos se puede observar en qué forma se fracturaron las probetas y cuáles fueron las que más energía absorbieron.



Figura 24-3: Probetas rotas después del ensayo

Realizado por: Autores

Los valores con que se realizaron los ensayos y las dimensiones de las probetas se muestran en las siguientes tablas de valores.

Tabla 8-3: Datos del ensayo de impacto en la probeta que contiene amianto

ENSAYOS DE PROBETAS CON AMIANTO					
Probeta	Largo(mm)	Ancho(mm)	Alto (mm)	Entalla(mm)	Energía absorbida(J)
PA-I	40.20	10.90	9.42	1.50	0.34
PA-II	40.30	10.24	9.62	1.41	0.31
PA-III	40.40	10.27	9.72	1.72	0.33
PA-IV	40.20	11.00	9.54	1.72	0.34
PA-V	40.10	10.90	9.62	1.42	0.32
Promedio					0.33

Realizador por: Autores

Las probetas que contienen amianto en su composición a las que se realizaron el ensayo de Charpy con un martillo de impacto de 2 Jules, mostraron valores de absorción de energía que varían de 0.31 a 0.34 Jules, lo que nos da una media de absorción de energía de 0.33 (J), este será el valor referencial con el que se compararan las demás probetas de fibra de cabuya y fibra de vidrio.

Tabla 9-3: Datos del ensayo de impacto en la probeta que contiene fibra de vidrio

ENSAYOS DE PROBETAS CON FIBRA DE VIDRIO					
Probeta	Largo(mm)	Ancho(mm)	Alto (mm)	Entalla(mm)	Energía Absorbida (J)
PFV-I	40.10	10.00	10.68	1.85	0.30
PFV-II	40.20	9.96	10.17	1.27	0.25
PFV-III	40.150	10.03	10.05	1.44	0.20
PFV-IV	40.30	11.08	10.36	1.45	0.21
PFV-V	40.10	10.6	10.60	1.81	0.28
Promedio					0.25

Realizado por: Autores

La variación de la energía absorbida por las probetas de fibra de vidrio varía entre 0.20 (J) como su valor mínimo y 0.30 (J) como su valor más alto, dándonos una media de 0.25 (J). Lo que nos indica que si bien el valor de la energía absorbida disminuye en función de las probetas con amianto su valor no dista mucho de las mismas.

Tabla 10-3: Datos del ensayo de impacto en la probeta que contiene fibra de cabuya

ENSAYOS DE PROBETAS CON FIBRA DE CABUYA					
Probeta	Largo(mm)	Ancho(mm)	Alto (mm)	Entalla(mm)	Energía Absorbida (J)
PFC-I	40.30	9.95	9.59	1.27	0.15
PFC-II	40.40	10.18	9.86	1.65	0.14
PFC-III	40.00	10.03	10.15	1.18	0.12
PFC-IV	40.20	10.06	9.54	1.24	0.14
PFC-V	40.10	10.00	10.35	1.45	0.20
Promedio					0.15

Realizado por: autores

Los valores obtenidos en este tipo de probetas varían en gran medida con el valor referencial de las probetas con amianto ya que el coeficiente de absorción de energía disminuye en 18 (J) aproximadamente en referencia a las mismas, lo que muestra una menor tenacidad por parte de este tipo de probetas.

3.4.2 Ensayo de Dureza Brinell

Se utilizó una máquina de dureza Brinell que nos permite determinar la resistencia de un material al ser penetrado. Se escogió este método de ensayo debido a que es el más sencillo de utilizar y no requiere conocimientos avanzados para su manejo. Para el ensayo se usó el penetrador tipo bolas, la escala que se ocupará es la HB.



Figura 25-3: Durómetro Brinell

Realizado por: Autores

Al ser un ensayo no destructivo se ocuparon las mismas probetas del ensayo de abrasión por arena seca, las cuales al terminar su ensayo no presentaron daños en su estructura. Esto a que la fuerza se ejerce en una pequeña área de su superficie.



Figura 26-3: Probetas utilizadas en el ensayo

Realizado por: Autores

Las diferentes variables que se toman en cuenta están determinadas en la normativa de uso del durómetro:

El proceso de medición de la dureza de las probetas se realiza de la siguiente manera:

1. Encender el durómetro e introducir las condiciones en las que se realizara el ensayo: estas son la carga, precarga, velocidad de aplicación de la carga.
2. Colocar la punta del penetrador correspondiente al material que se va a ensayar.
3. Colocar la probeta sobre la mesa y subir la palanca hasta que quede en su posición más alta.
4. Observar que en la pantalla coincidan el punto de contacto con el eje de esta para indicar el inicio del movimiento.
5. Aplicar la carga principal girando la palanca que se encuentra en un costado de la máquina, de ser necesario se acompaña su movimiento.



Figura 27-3: Aplicación de la carga principal

Realizado por: Autores

6. Una vez se comprueba en el indicador que la carga esta estable, se procede a retirar la misma para lo cual se debe devolver la palanca a su posición inicial girándola.
7. Bajar la mesa para poder retirar la probeta, girando la palanca que se encuentra en la parte inferior

8. Medir con un calibrador las dimensiones de la huella dejada por la punta del penetrómetro en la probeta.



Figura 28-3: Medición de la huella dejado por el penetrómetro

Realizado por: Autores

9. Repetir el proceso para las demás probetas.

Las huellas dejadas en las probetas varían dependiendo de la composición de esta, pero para tener una referencia el diámetro de dicha huella siempre debe ser inferior al diámetro de la esfera con que se realizó el ensayo.

Los valores con que se realizaron los ensayos y las dimensiones de las probetas se muestran en las siguientes tablas de valores.

Las tablas de resultados nos muestran la dureza de cada tipo de probeta, calculada con las fórmulas establecidas en la norma y los parámetros iniciales puestos previamente para la realización de los ensayos.

Tabla 11-3: Datos del ensayo de dureza en la probeta que contiene amianto

ENSAYOS DE PROBETAS CON AMIANTO							
Probeta	Diámetro de la esfera mm	Fuerza aplicada KP	Diámetros de la huella (mm)			Diámetro de promedio de la huella (mm)	Dureza en HB
PA-I	5.00	59.96	1.70	1.70	1.71	1.70	25.53
PA-II	5.00	59.96	1.95	1.95	1.96	1.95	19.21
PA-III	5.00	59.96	1.65	1.65	1.65	1.65	27.26
PA-IV	5.00	59.96	1.90	1.90	1.90	1.90	20.35
PA-V	5.00	59.96	1.93	1.93	1.93	1.93	19.70
PROMEDIO						1.83	22.41

Realizado por: Autores

Cálculo de la dureza Promedio:

Utilizando la ecuación 2-1, calculamos el valor de la dureza de las probetas con amianto, utilizando el promedio de la huella marcada.

Tenemos el valor de kgf p kilopondio (KP) correspondiente a 59.96, el mismo que esta preestablecido en la maquina al iniciar el ensayo.

$$HBp = \frac{2 * (59.96)}{\pi * 5(5 - \sqrt{5^2 - 1.83^2})}$$

$$HBp = \frac{119.92}{\pi * 5 * (5 - \sqrt{25 - 3.3489})}$$

$$HBp = \frac{119,92}{\pi * 5 * (5 - \sqrt{21.6511})}$$

$$HBp = \frac{119,92}{\pi * 5 * (5 - 4.65)}$$

$$HBp = \frac{119,92}{\pi * 5 * 0.3469}$$

$$HBp = \frac{119,92}{5.45}$$

$$HBp = 22.05 \text{ Kg}f / \text{mm}^2$$

El valor de dureza calculado para las probetas de amianto será establecido como el referencial para los demás tipos de probetas, ya que este tipo de probeta es la comercial y está certificada.

Tabla 12-3: Datos del ensayo de dureza en la probeta que contiene fibra de vidrio

ENSAYOS DE PROBETAS CON FIBRA DE VIDRIO							
Probeta	Diámetro de la esfera mm	Fuerza aplicada N	Diámetros de la huella (mm)			Diámetro de promedio de la huella (mm)	Dureza HB
PFV-I	5.00	31.20	3.35	3.35	3.35	74,6	3.08
PFV-II	5.00	31.20	3.20	3.20	3.20	72,6	3.43
PFV-III	5.00	31.20	3.10	3.10	3.10	74	3.69
PFV-IV	5.00	31.20	3.40	3.40	3.40	67,8	2.98
PFV-V	5.00	31.20	3.60	3.60	3.60	3.60	2.60
PROMEDIO						3.33	3.16

Realizado por: Autores

Utilizando la ecuación 2-1, calculamos el valor de la dureza de las probetas con fibras de vidrio, utilizando el promedio de la huella marcada.

$$HBp = \frac{2 * (31.20)}{\pi * 5(5 - \sqrt{5^2 - 3.33^2})}$$

$$HBp = \frac{62.4}{\pi * 5 * (5 - \sqrt{25 - 11.09})}$$

$$HBp = \frac{62.4}{\pi * 5 * (5 - \sqrt{13.91})}$$

$$HBp = \frac{62.4}{\pi * 5 * (5 - 3.73)}$$

$$HBp = \frac{62.4}{\pi * 5 * 1.27}$$

$$HBp = \frac{62.4}{19.95}$$

$$HBp = 3.13 \text{ Kg}/\text{mm}^2$$

Los valores de dureza obtenidos en el ensayo con las probetas de fibra de vidrio tienen una marcada tendencia a la baja, lo que significa que las mismas van a ser más suaves que las de amianto, lo cual combinado con una baja tasa de desgaste podría ser beneficioso a la hora de frenado.

Tabla 13-3: Datos del ensayo de dureza en la probeta que contiene fibra de vidrio

ENSAYOS DE PROBETAS CON FIBRA DE CABUYA							
Probeta	Diámetro de la esfera mm	Fuerza aplicada N	Diámetros de la huella (mm)			Diámetro de promedio de la huella (mm)	Dureza HB
PFC-I	5.00	31.20	3.60	3.60	3.60	3.6	2.60
PFC-II	5.00	31.20	3.15	3.15	3.15	3.15	3.56
PFC-III	5.00	31.20	3.80	3.80	3.80	3.8	2.27
PFC-IV	5.00	31.20	3.70	3.70	3.70	3.7	2.43
PFC-V	5.00	31.20	4.20	4.20	4.20	4.2	1.74
PROMEDIO						3.69	2.52

Realizado por: Autores

Utilizando la ecuación 2-1, calculamos el valor de la dureza de las probetas con fibras de cabuya, utilizando el promedio de la huella marcada.

$$HBp = \frac{2 * (31.20)}{\pi * 5(5 - \sqrt{5^2 - 3.69^2})}$$

$$HBp = \frac{62.4}{\pi * 5 * (5 - \sqrt{25 - 13.61})}$$

$$HBp = \frac{62.4}{\pi * 5 * (5 - \sqrt{11.38})}$$

$$HBp = \frac{62.4}{\pi * 5 * (5 - 3.37)}$$

$$HBp = \frac{62.4}{\pi * 5 * (1.62)}$$

$$HBp = \frac{62.4}{\pi * 5 * 1.62}$$

$$HBp = \frac{62.4}{25.44}$$

$$HBp = 2.44 \text{ Kgf/mm}^2$$

Los valores de dureza obtenidos en el ensayo con las probetas de fibra de cabuya no distan mucho de los obtenidos en las probetas de fibra de vidrio, pero sí de los obtenidos con las pastillas de amianto. De igual manera se considera que un bajo valor de dureza puede ser considerado como una característica propia de una pastilla orgánica.

3.4.3 Ensayo de desgaste por abrasión de arena seca

La máquina que se utilizó para la realización del ensayo fue la especificada en la norma ASTM G-65, la misma que cumple con todos los parámetros de funcionamiento establecidos en la misma.



Figura 29-3: Máquina de desgaste por arena seca

Realizado por: Autores

El procedimiento que se llevó a cabo para la realización de los ensayos fue el Procedimiento tipo B que, puede usarse para materiales altamente resistentes a la abrasión, pero es particularmente útil en la clasificación de materiales de resistencia media y baja a la abrasión. (ASTM G65-04, 2010, P.1)

Las probetas que se utilizaron durante el ensayo fueron divididas por su composición por lo cual se tubo cinco muestras de cada una con las cuales se procederá a hacer los análisis comparativos de los resultados más adelante.

Para el ensayo se muestran cinco probetas con fibra de Cabuya las cuales se nominaron con C-I, C-II, C-III, C-IV, C-V. Las probetas que contienen fibra de vidrio se nominaron V-I, V-II, V-III, V-IV, V-V. Y finalmente las probetas con amianto A-I, A-II, A-III, A-IV, A-V.



Figura 30-3: Probetas para en ensayo de desgaste por abrasión de arena seca

Realizado por: Autores

Los pasos para la realización del ensayo fueron los siguientes:

1. Preparar la máquina de desgaste de abrasión de arena seca, así como los materiales que serán utilizados en el ensayo.
2. Tomar las medidas de los pesos de las probetas a ensayar, esto se lo realiza con ayuda de una balanza digital con una tolerancia de 0,1 g.



Figura 31-3: Peso de las probetas

Realizado por: Autores

3. Calibrar el flujo de caudal de arena que baja del recipiente en la parte superior, esto se lo realiza abriendo la válvula de paso y pesando la cantidad de arena que cae en un minuto,

para el ensayo se utilizó un caudal de 400 g/min, que se encuentra dentro de lo establecido por la norma.

4. Colocar la probeta en el soporte de la base inferior y ajustar con ayuda de una llave, también se procede a colocar la carga de 45 N en el extremo del brazo, ya que será el que produzca la fuerza de rozamiento en el giro del disco.
5. Verificar que la válvula se encuentre cerrada, así como la cantidad de arena en el recipiente se recomienda tener una cantidad superior a los 2000 g para el ensayo tipo B.
6. Abrir la válvula de paso de arena y esperar unos segundos a que se forme una cortina constante de arena. Encender la maquina esperar unos segundos y dejar caer el brazo, que aplicara fuerza sobre la probeta.
7. Esperar el tiempo estimado que para el ensayo tipo B son 5min con la ayuda de un cronometro.



Figura 32-3: funcionamiento de la maquina con el tiempo estimado

Realizado por: Autores

8. Apagar la máquina, retirar la probeta y volver a pesarla en la balanza.



Figura 33-3: Peso de la probeta después de la prueba

Realizado por: Autores

9. Repetir el ensayo para cada una de las probetas, se recomienda volver a cernir la arena cada vez que se cumpla un ciclo de uso.

Al final de los ensayos se puede observar en qué forma se fracturaron las probetas y cuáles fueron las que más energía absorbieron.



Figura 34-3: Probetas después del ensayo

Realizado por: Autores

Los valores con que se realizaron los ensayos y las dimensiones de las probetas se muestran en las siguientes tablas de valores.

Tabla 14-3: Datos del ensayo de abrasión con arena seca en la probeta que contiene amianto

ENSAYOS DE PROBETAS CON AMIANTO										
Probeta	Largo (mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Peso inicial (g)	Peso final (g)			Promedio peso final (g)	Masa perdida (g)	Volumen perdido (mm ³)
PA-I	80.05	25.50	10.30	56.9	55.9	56.00	56.00	55.97	0.93	344.40
PA-II	80.10	25.40	10.70	57.2	56.3	56.4	56.4	56.37	0.83	307.50
PA-III	80.15	25.65	10.50	55.4	54.5	54.5	54.5	54.50	0.90	332.10
PA-IV	80.00	25.55	10.20	56.4	55.2	55.1	55.1	55.13	1.27	467.40
PA-V	80.00	25.45	10.30	57.2	56.2	56.1	56.2	56.17	1.03	381.30
PROMEDIO				56.62				55.63	0.99	366.54

Realizado por: Autores

Para calcular la masa perdida en gramos procedemos a realizar una diferencia entre la masa inicial y la masa final después de realizar el ensayo de desgaste.

$$Masa\ perdida\ pro = Masa\ i\ pro - Masa.\ fin.\ pro$$

$$Masa\ perdida\ pro = 56.62\ g - 55.63\ g$$

$$Masa\ perdida\ pro = 0.99\ g$$

Para el cálculo del volumen perdido necesitamos la densidad promedio de las probetas la cual procedemos a calcular mediante la siguiente fórmula

$$Densidad\ promedio = \frac{Masa\ promedio}{Volumen\ promedio}$$

$$Densidad\ promedio = \frac{56.62\ g}{20.89\ cm^3}$$

$$Densidad\ promedio = 2.71\ \frac{g}{cm^3}$$

La fórmula del volumen promedio perdido:

$$\text{Volumen perdido promedio} = \frac{\text{Masa perdida promedio}}{\text{densidad promedio}} * 1000$$

$$\text{Volumen perdido promedio} = \frac{0.99 \text{ g}}{2.71 \text{ g/cm}^3} * 1000$$

$$\text{Volumen perdido promedio} = 365,30 \text{ mm}^3$$

Los valores de masa y volumen perdidos con una fuerza de apoyo en el brazo de 45N serán tomados como referencia para el análisis comparativo con las probetas de fibra de vidrio y de aluminio.

Tabla 15-3: Datos del ensayo de abrasión con arena seca en la probeta que contiene fibra de vidrio

ENSAYOS DE PROBETAS CON FIBRA DE VIDRIO										
Probeta	Largo (mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Peso inicial (g)	Peso final (g)			Promedio peso final (g)	Peso perdido (g)	Volumen perdido (mm)
PFV-I	80.40	25.50	12.30	29.50	28.00	28.00	28.00	28.00	1.50	1145.83
PFV-II	80.40	25.70	11.70	28.60	27.00	26.90	26.90	26.93	1.67	1273.15
PFV-III	80.40	25.65	12.50	35.80	34.20	34.20	34.20	34.20	1.60	1222.22
PFV-IV	80.40	25.50	12.00	31.60	30.00	30.00	30.00	30.00	1.60	1222.22
PFV-V	80.25	25.50	12.00	31.90	30.30	30.40	30.30	30.33	1.57	1196.76
PROMEDIO				31.48				29.89	1.59	1212.04

Realizado por: Autores

Se procede a calcular el promedio de la masa perdida durante el ensayo, con los valores de la masa inicial promedio y la masa final promedio de las probetas

$$\text{Masa perdida pro} = \text{Masa } i \text{ pro} - \text{Masa. fin. pro}$$

$$\text{Masa perdida pro} = 31.48 \text{ g} - 29.89 \text{ g}$$

$$\text{Masa perdida pro} = 1.59 \text{ g}$$

Para el cálculo del volumen perdido necesitamos la densidad promedio de las probetas la cual procedemos a calcula mediante la siguiente formula

$$\text{Densidad promedio} = \frac{\text{Masa promedio}}{\text{Volumen promedio}}$$

$$\text{Densidad promedio} = \frac{31.48 \text{ g}}{24.03 \text{ cm}^3}$$

$$\text{Densidad promedio} = 1.31 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

La fórmula del volumen promedio perdido:

$$\text{Volumen perdido promedio} = \frac{\text{Masa perdida promedio}}{\text{densidad promedio}} * 1000$$

$$\text{Volumen perdido promedio} = \frac{1.59 \text{ g}}{1.31 \text{ g/cm}^3} * 1000$$

$$\text{Volumen perdido promedio} = 1213,74 \text{ mm}^3$$

Los valores de masa y volumen perdidos aumentan en comparación de las probetas con amianto, esto se debe a que las mismas poseen una menor densidad que las de amianto.

Tabla 16-3: Datos del ensayo de abrasión con arena seca en la probeta que contiene fibra de cabuya

ENSAYOS DE PROBETAS CON FIBRA DE CABUYA										
Probeta	Largo (mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Peso inicial (g)	Peso final (g)			Promedio peso final (g)	Peso perdido (g)	Volumen perdido (mm)
PFC-I	80.35	25.50	11.70	28.7	26.4	26.3	26.3	26.33	2.37	1770.34
PFC-II	80.70	25.60	11.50	27.4	25.5	25.5	25.4	25.47	1.93	1446.19
PFC-III	80.50	25.40	11.55	30.2	28.5	28.5	28.5	28.50	1.70	1271.65
PFC-IV	80.50	25.50	12.40	31.3	29.2	29.3	29.3	29.27	2.03	1521.00
PFC-V	80.35	25.45	12.45	30.0	28.1	28.1	28.2	28.13	1.87	1396.33
PROMEDIO				29.52				27.54	1.98	1481.10

Realizado por: Autores

Se procede a calcular el promedio de la masa perdida durante el ensayo, con los valores de la masa inicial promedio y la masa final promedio de las probetas

$$\text{Masa perdida pro} = \text{Masa i pro} - \text{Masa. fin. pro}$$

$$\text{Masa perdida pro} = 29.52 \text{ g} - 27.54 \text{ g}$$

$$\text{Masa perdida pro} = 1.98 \text{ g}$$

Para el cálculo del volumen perdido necesitamos la densidad promedio de las probetas la cual procedemos a calcula mediante la siguiente formula

$$\text{Densidad promedio} = \frac{\text{Masa promedio}}{\text{Volumen promedio}}$$

$$\text{Densidad promedio} = \frac{29.52 \text{ g}}{22.02 \text{ cm}^3}$$

$$\text{Densidad promedio} = 1.34 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

La fórmula del volumen promedio perdido:

$$\text{Volumen perdido promedio} = \frac{\text{Masa perdida promedio}}{\text{densidad promedio}} * 1000$$

$$\text{Volumen perdido promedio} = \frac{1.98g}{1.34 \text{ g/cm}^3} * 1000$$

$$\text{Volumen perdido promedio} = 1477.611 \text{ mm}^3$$

Los valores de masa y volumen perdidos aumentan en comparación de las probetas con amianto, esto se debe a que las mismas poseen una menor densidad que las de amianto.

3.4.4 Ensayo de desgaste PIN ON DISK

La máquina que se utilizó para la realización del ensayo fue una de desgaste Pin on Disk especificada en la norma ASTM G-99, la misma que cumple con todos los parámetros de funcionamiento establecidos en la misma.



Figura 35-3: Tribómetro Pin on Disk

Realizado por: Autores

Las probetas que se utilizaron durante el ensayo fueron divididas por su composición por lo cual se tubo cinco muestras de cada una con las cuales se procederá a hacer los análisis comparativos de los resultados más adelante.

Para el ensayo se muestran cinco probetas con fibra de Cabuya las cuales se nombraron con C-I, C-II, C-III, C-IV, C-V. Las probetas que contienen fibra de vidrio de nombraron V-I, V-II, V-III, V-IV, V-V. Y finalmente las probetas con amianto A-I, A-II, A-III, A-IV, A-V.

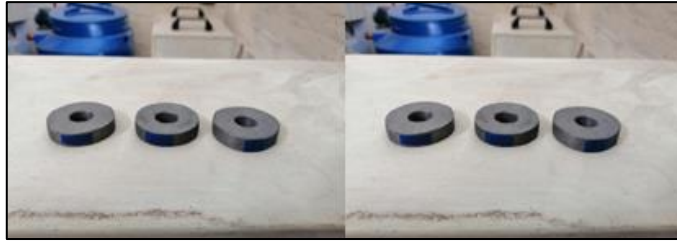


Figura 36-3: Probetas para el ensayo

Realizado por: Autores

Los pasos para la realización del ensayo fueron los siguientes:

1. Pesar todas las probetas que van a ser utilizadas en el ensayo con ayuda de una balanza digital.



Figura 37-3: Pesado de las probetas antes del ensayo

Realizado por: Autores

2. Encender la maquina pulsando el botón "ON" y esperar a que se cargue la pantalla del panel de control.
3. Ingresar los parámetros con los que se realizara los ensayos. Los valores que se tomó en cuenta son: distancia 500 m, velocidad 560 rpm, radio de prueba 18 mm.



Figura 38-3: Ingreso de parámetro a la maquina

Realizado por: Autores

- Colocar la probeta en la base superior y ajustar por medio de los pernos de sujeción a una fuerza normal.
- Colocar el pin de acero en el mandril de la maquina y sujetar el peso en la parte superior del brazo de palanca el cual nos servirá para aplicar un mayor rozamiento entre la superficie de contacto entre la probeta y el pin.
- Poner en marcha la maquina presionando el botón “C” que es el encargado de empezar el ciclo de trabajo.
- Esperar que la máquina recorra los 500 m y cronometrar el tiempo en que se demora.



Figura 39-3: Funcionamiento con el tiempo determinado

Realizado por: Autores

- Retirar la probeta y volver a pesarla con la balanza para obtener el valor de desgaste.



Figura 40-3: Peso de la probeta después del ensayo

Realizado por: Autores.

- Repetir el ensayo para cada una de las probetas, se recomienda volver a cernir la arena cada vez que se cumpla un ciclo de uso.

Al final de los ensayos se puede observar en qué forma se fracturaron las probetas y cuáles fueron las que más energía absorbieron.

Los valores con que se realizaron los ensayos y las dimensiones de las probetas se muestran en las siguientes tablas de valores.

Tabla 17-3: Datos del ensayo PIN ON DISK en la probeta que contiene amianto

ENSAYOS DE DESGASTE PIN ON DISK CON PROBETAS DE AMIANTO										
Probeta	Diámetro (mm)	Espesor (mm)	Peso inicial (g)	Peso final (g)			Promedio peso final (g)	Peso perdido (g)	Volumen perdido mm ³	Tasa de desgaste (mm ³ /N.m)
PA-I	43.50	9.00	36.30	36.1	36.2	36.1	36.13	0.17	61.50	0.005
PA-II	43.50	9.00	35.50	35.3	35.4	35.4	35.36	0.13	49.20	0.004
PA-III	43.50	9.00	35.40	35.1	35.2	35.2	35.16	0.23	86.10	0.007
PA-IV	43.50	9.00	36.10	36.0	35.9	35.9	35.93	0.17	61.50	0.005
PA-V	43.50	9.00	36.30	36.1	36.2	36.1	36.13	0.20	73.80	0.006
PROMEDIO			35.70				35.52	0.18	66.42	0.005

Realizado por: Autores

Tabla 18-3: Coeficientes de Fricción

COEFICIENTE DE FRICCIÓN OBTENIDO POR LA MAQUINA PIN ON DISK	
Probeta	Coeficiente de fricción
PA-I	0.399
PA-II	0.356
PA-III	0.41
PA-IV	0.398
PA-V	0.325
PROMEDIO	0.3776

Realizado por: Autores

Los valores de peso perdido se calculan con la siguiente formula:

$$\text{Peso perdido promedio} = \text{Peso inc pro} - \text{Peso. fin. pro}$$

$$\text{Peso perdido pro} = 35.70g - 35.52g$$

$$\text{Peso perdido pro} = 0.18 g$$

Para el cálculo del volumen perdido necesitamos la densidad promedio de las probetas de amianto la cual ya se calculó anteriormente y su valor fue de:

$$\text{Densidad promedio} = 2.71 \frac{g}{cm^3}$$

La fórmula del volumen promedio perdido:

$$\text{Volumen perdido promedio} = \frac{\text{Masa perdida promedio}}{\text{densidad promedio}} * 1000$$

$$\text{Volumen perdido promedio} = \frac{0.18g}{2.71 \text{ g/cm}^3} * 1000$$

$$\text{Volumen perdido promedio} = 66.42 \text{ mm}^3$$

La tasa de desgaste es un valor que nos dice que cantidad de volumen se desgasta en función de la distancia recorrida y la la fuerza aplicada, su fórmula y unidades son las siguientes:

$$\text{Tasa de desgaste} = \frac{\text{Volumen perdido}}{\text{Carga} * \text{distancia}}$$

$$\text{Tasa de desgaste promedio} = \frac{66.42 \text{ mm}^3}{24.5 \text{ N} * 500\text{m}}$$

$$\text{Tasa de desgaste promedio} = 0.0054 \frac{\text{mm}^3}{\text{Nm}}$$

Tabla 19-3: Datos del ensayo PIN ON DISK en la probeta que contiene fibra de vidrio

ENSAYOS DE DESGASTE PIN ON DISK CON PROBETAS DE FIBRA DE VIDRIO										
Probeta	Diámetro (mm)	Espesor (mm)	Peso inicial (g)	Peso final (g)			Promedio peso final (g)	Peso perdido (g)	Volumen perdido mm ³	Tasa de desgaste (mm ³ /N.m)
PFV-I	40.00	6.00	8.80	8.5	8.5	8.5	8.50	0.30	229.01	0.019
PFV-II	40.00	6.00	7.80	7.4	7.4	7.5	7.43	0.36	279.90	0.023
PFV-III	40.00	6.00	7.50	7.1	7.2	7.2	7.16	0.33	254.45	0.021
PFV-IV	40.00	6.00	7.90	7.5	7.5	7.6	7.53	0.36	279.90	0.023
PFV-V	40.00	6.00	7.90	7.6	7.6	7.6	7.60	0.30	229.01	0.019
PROMEDIO			7.98				7.647	0.333	254.45	0.021

Realizado por: Autores

Tabla 20-3: Coeficiente de fricción

COEFICIENTE DE FRICCIÓN OBTENIDO POR LA MAQUINA PIN ON DISK	
Probeta	Coeficiente de fricción
PFV-I	0.556
PFV-II	0.501
PFV-III	0.523
PFV-IV	0.489
PFV-V	0.512
PROMEDIO	0.5162

Realizado por: Autores

Los valores de peso perdido se calculan con la siguiente fórmula:

$$\text{Peso perdido promedio} = \text{Peso inc pro} - \text{Peso. fin. pro}$$

$$\text{Peso perdido pro} = 7.98g - 7.647g$$

$$\text{Peso perdido pro} = 0.333 g$$

Para el cálculo del volumen perdido necesitamos la densidad promedio de las probetas de amianto la cual ya se calculó anteriormente y su valor fue de:

$$\text{Densidad promedio} = 1.31 \frac{g}{cm^3}$$

La fórmula del volumen promedio perdido:

$$\text{Volumen perdido promedio} = \frac{\text{Peso perdida promedio}}{\text{densidad promedio}} * 1000$$

$$\text{Volumen perdido promedio} = \frac{0.333g}{1.31 g/cm^3} * 1000$$

$$\text{Volumen perdido promedio} = 254.4 mm^3$$

La tasa de desgaste es un valor que nos dice que cantidad de volumen se desgasta en función de la distancia recorrida y la la fuerza aplicada, su fórmula y unidades son las siguientes:

$$\text{Tasa de desgaste} = \frac{\text{Volumen perdido}}{\text{Carga} * \text{distancia}}$$

$$\text{Tasa de desgaste promedio} = \frac{\text{Volumen perdido promedio}}{\text{Carga} * \text{distancia}}$$

$$\text{Tasa de desgaste promedio} = \frac{254.4 mm^3}{24.5 N * 500m}$$

$$\text{Tasa de desgaste promedio} = 0.021 \frac{mm^3}{Nm}$$

Tabla 21-3: Datos del ensayo PIN ON DISK en la probeta que contiene fibra de cabuya

ENSAYOS DE DESGASTE PIN ON DISK CON PROBETAS DE FIBRA DE CABUYA										
Probeta	Diámetro (mm)	Espesor (mm)	Peso inicial (g)	Peso final (g)			Promedio peso final (g)	Peso perdido (g)	Volumen perdido mm ³	Tasa de desgaste (mm ³ /N.m)
PFC-I	40.00	6.00	8.30	7.9	7.9	7.8	7.87	0.43	323.38	0.026
PFC-II	40.00	6.00	8.50	8.0	8.0	8.1	8.03	0.47	348.26	0.028
PFC-III	40.00	6.00	8.10	7.7	7.7	7.7	7.70	0.40	298.51	0.024
PFC-IV	40.00	6.00	8.20	7.7	7.8	7.8	7.77	0.43	323.38	0.026
PFC-V	40.00	6.00	8.00	7.6	7.5	7.6	7.57	0.43	323.38	0.026
PROMEDIO			8.22				7.79	0.43	323.38	0.026

Realizado por: Autores

Tabla 22-3: Coeficiente de fricción

COEFICIENTE DE FRICCIÓN OBTENIDO POR LA MAQUINA PIN ON DISK	
Probeta	Coeficiente de fricción
PFC-I	0.569
PFC-II	0.532
PFC-III	0.512
PFC-IV	0.543
PFC-V	0.556
PROMEDIO	0.5424

Realizado por: Autores

Los valores de peso perdido se calculan con la siguiente formula:

$$Peso\ perdido\ promedio = Peso\ inc\ pro - Peso.\ fin.\ pro$$

$$Peso\ perdido\ pro = 8.22g - 7.79g$$

$$Peso\ perdido\ pro = 0.43\ g$$

Para el cálculo del volumen perdido necesitamos la densidad promedio de las probetas de amianto la cual ya se calculó anteriormente y su valor fue de:

$$Densidad\ promedio = 1.34 \frac{g}{cm^3}$$

La fórmula del volumen promedio perdido:

$$Volumen\ perdido\ promedio = \frac{Peso\ perdida\ promedio}{densidad\ promedio} * 1000$$

$$\text{Volumen perdido promedio} = \frac{0.43g}{1.34 \text{ g/cm}^3} * 1000$$

$$\text{Volumen perdido promedio} = 320 \text{ mm}^3$$

La tasa de desgaste es un valor que nos dice que cantidad de volumen se desgasta en función de la distancia recorrida y la la fuerza aplicada, su fórmula y unidades son las siguientes:

$$\text{Tasa de desgaste} = \frac{\text{Volumen perdido}}{\text{Carga} * \text{distancia}}$$

$$\text{Tasa de desgaste promedio} = \frac{320 \text{ mm}^3}{24.5 \text{ N} * 500\text{m}}$$

$$\text{Tasa de desgaste promedio} = 0.026 \frac{\text{mm}^3}{\text{Nm}}$$

CAPITULO IV

4. ANÁLISIS COMPARATIVOS DE RESULTADOS

Para realizar el análisis comparativo, se resume los datos de todos los ensayos realizados en la siguiente tabla a continuación:

Tabla 1-4: Datos resumidos de los distintos ensayos

# de probeta	PA	PFV	PFC
Ensayo de impacto			
I	0,34 J	0,30 J	0,15 J
II	0,31 J	0,25 J	0,14 J
III	0,33 J	0,20 J	0,12 J
IV	0,34 J	0,21 J	0,14 J
V	0,32 J	0,28 J	0,20 J
Promedio	0,328 J/mm²	0.248 J/mm²	0.150 J/mm²
Ensayo de dureza			
I	25,53 HB	3,08 HB	2,60 HB
II	19,21 HB	3,43 HB	3,56 HB
III	27,26 HB	3,69 HB	2,27 HB
IV	20,35 HB	2,98 HB	2,43 HB
V	19,70 HB	2,60 HB	1,74 HB
Promedio	22,41 HB	3,16 HB	2,52 HB
Ensayo de desgaste por abrasión con arena seca			
I	0,93 g	1,50 g	2,37 g
II	0,83 g	1,67 g	1,93 g
III	0,90 g	1,60 g	1,70 g
IV	1,27 g	1,60 g	2,03 g
V	1,03 g	1,57 g	1,87 g
Promedio	0,99 g	1,59 g	1,98 g
Ensayo "PIN ON DISK"			
I	0,399	0,569	0,556
II	0,356	0,532	0,501
III	0,41	0,512	0,523
IV	0,398	0,543	0,489
V	0,325	0,556	0,512
Promedio	0,3776	0,5424	0,5162
Costo Promedio			
	3.50 \$	3.00 \$	2.90 \$

Realizado por: Autores

4.1 Análisis comparativo del ensayo de impacto

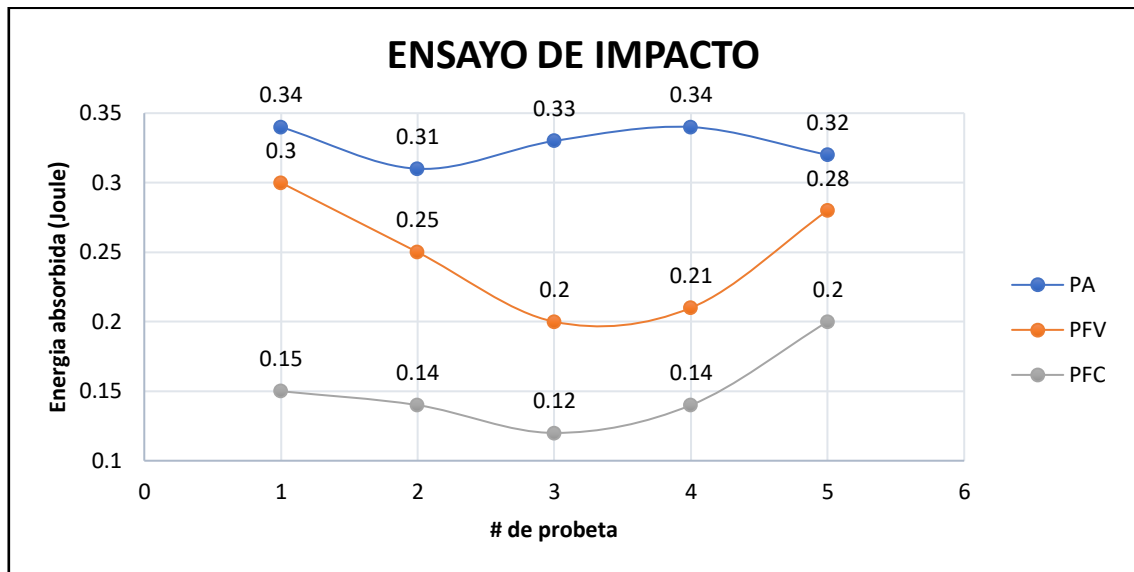
Por medio de prueba de hipótesis T-Student, para muestras relacionadas.

Tabla 2-4: Análisis comparativo del ensayo de impacto por medio de prueba de hipótesis

ENSAYO DE IMPACTO																																																	
PA vs. PFV	PA vs. PFC																																																
<p>Hipótesis nula: No hay variación en la absorción de energía al impacto en la PA vs. PFV $H_0 \rightarrow \mu_1 - \mu_2 = 0 \rightarrow \mu_1 = \mu_2$</p> <p>Hipótesis alternativa: Hay variación en la absorción de energía al impacto en la PA vs. PFV $H_1 \rightarrow \mu_1 - \mu_2 \neq 0 \rightarrow \mu_1 \neq \mu_2$</p> <p>Siguiendo la ecuación 2-2 y 2-3 se obtiene:</p> $\sigma^2 = 0.00102 \quad \wedge \quad t = 3.96$ <p>Se calcula el valor T critico de tabla de probabilidad según los grados de libertad y el nivel de significancia según el ANEXO C</p> $GL = n_1 + n_2 - 2 = 8 \quad \alpha = 1\% = 0.01$ $T = 3.355 = \quad P - \text{valor} = 0.004$ <p>Como el valor de $t > T$ y $P < \alpha$ se rechaza la hipótesis nula, esto significa que existe una variación no muy amplia en la absorción de energía al impacto de PA con PFV. Corroboración de datos con Excel:</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin-top: 10px;"> <thead> <tr> <th></th> <th style="text-align: center;"><i>PA</i></th> <th style="text-align: center;"><i>PFV</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Media</td> <td style="text-align: center;">0,328</td> <td style="text-align: center;">0,248</td> </tr> <tr> <td>Varianza</td> <td style="text-align: center;">0,000</td> <td style="text-align: center;">0,00187</td> </tr> <tr> <td>Varianza agrupada</td> <td style="text-align: center;">0,00102</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Grados de libertad</td> <td style="text-align: center;">8,000</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Estadístico t</td> <td style="text-align: center;">3,961</td> <td></td> </tr> <tr> <td>P(T<=t) dos colas</td> <td style="text-align: center;">0,0042</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Valor crítico de t (dos colas)</td> <td style="text-align: center;">3,355</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		<i>PA</i>	<i>PFV</i>	Media	0,328	0,248	Varianza	0,000	0,00187	Varianza agrupada	0,00102		Grados de libertad	8,000		Estadístico t	3,961		P(T<=t) dos colas	0,0042		Valor crítico de t (dos colas)	3,355		<p>Hipótesis nula: No hay variación en la absorción de energía al impacto en la PA vs. PFC $H_0 \rightarrow \mu_1 - \mu_2 = 0 \rightarrow \mu_1 = \mu_2$</p> <p>Hipótesis alternativa: Hay variación en la absorción de energía al impacto en la PA vs. PFC $H_1 \rightarrow \mu_1 - \mu_2 \neq 0 \rightarrow \mu_1 \neq \mu_2$</p> <p>Siguiendo la ecuación 2-2 y 2-3 se obtiene:</p> $\sigma^2 = 0.000535 \quad \wedge \quad t = 12.168$ <p>Se calcula el valor T critico de tabla de probabilidad según los grados de libertad y el nivel de significancia según el ANEXO C</p> $GL = n_1 + n_2 - 2 = 8 \quad \alpha = 1\% = 0.01$ $T = 3.355 \quad P - \text{valor} = 0.0000019$ <p>Como el valor de $t > T$ y $P < \alpha$ se rechaza la hipótesis nula, esto significa que existe una variación no muy amplia en la absorción de energía al impacto de PA con PFC. Corroboración de datos con Excel:</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin-top: 10px;"> <thead> <tr> <th></th> <th style="text-align: center;"><i>PA</i></th> <th style="text-align: center;"><i>PFC</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Media</td> <td style="text-align: center;">0,328</td> <td style="text-align: center;">0,15</td> </tr> <tr> <td>Varianza</td> <td style="text-align: center;">0,00017</td> <td style="text-align: center;">0,0009</td> </tr> <tr> <td>Varianza agrupada</td> <td style="text-align: center;">0,000535</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Grados de libertad</td> <td style="text-align: center;">8</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Estadístico t</td> <td style="text-align: center;">12,1678295</td> <td></td> </tr> <tr> <td>P(T<=t) dos colas</td> <td style="text-align: center;">1,9284E-06</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Valor crítico de t (dos colas)</td> <td style="text-align: center;">3,35538733</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		<i>PA</i>	<i>PFC</i>	Media	0,328	0,15	Varianza	0,00017	0,0009	Varianza agrupada	0,000535		Grados de libertad	8		Estadístico t	12,1678295		P(T<=t) dos colas	1,9284E-06		Valor crítico de t (dos colas)	3,35538733	
	<i>PA</i>	<i>PFV</i>																																															
Media	0,328	0,248																																															
Varianza	0,000	0,00187																																															
Varianza agrupada	0,00102																																																
Grados de libertad	8,000																																																
Estadístico t	3,961																																																
P(T<=t) dos colas	0,0042																																																
Valor crítico de t (dos colas)	3,355																																																
	<i>PA</i>	<i>PFC</i>																																															
Media	0,328	0,15																																															
Varianza	0,00017	0,0009																																															
Varianza agrupada	0,000535																																																
Grados de libertad	8																																																
Estadístico t	12,1678295																																																
P(T<=t) dos colas	1,9284E-06																																																
Valor crítico de t (dos colas)	3,35538733																																																

Realizado por: Autores

A continuación, se muestra un análisis comparativo del ensayo de impacto por medio de una gráfica comparativa



Gráfica 1-4: Análisis comparativo del ensayo de impacto por medio de una gráfica comparativa

Realizado por: Autores

El análisis de prueba de hipótesis se da a notar que existe variaciones de datos entre las probetas, la cual se puede comprobar con la gráfica comparativa realizada que no resulta viable realizar la sustitución de la fibra de cabuya por el amianto ya que la PFV es inferior a la PA con un 24.4% que equivale a un 0.08 J de variación con un 14.3% en reducción de costo dando un B/C de 0.59 y tampoco resulta viable la sustitución de la fibra de cabuya por el amianto ya que PFC con la PA dio una variación muy elevada de 0.178 J que equivale a un 54.3% y una reducción del costo del 17.14% dando un B/C de 0.32

4.2 Análisis comparativo del ensayo de dureza

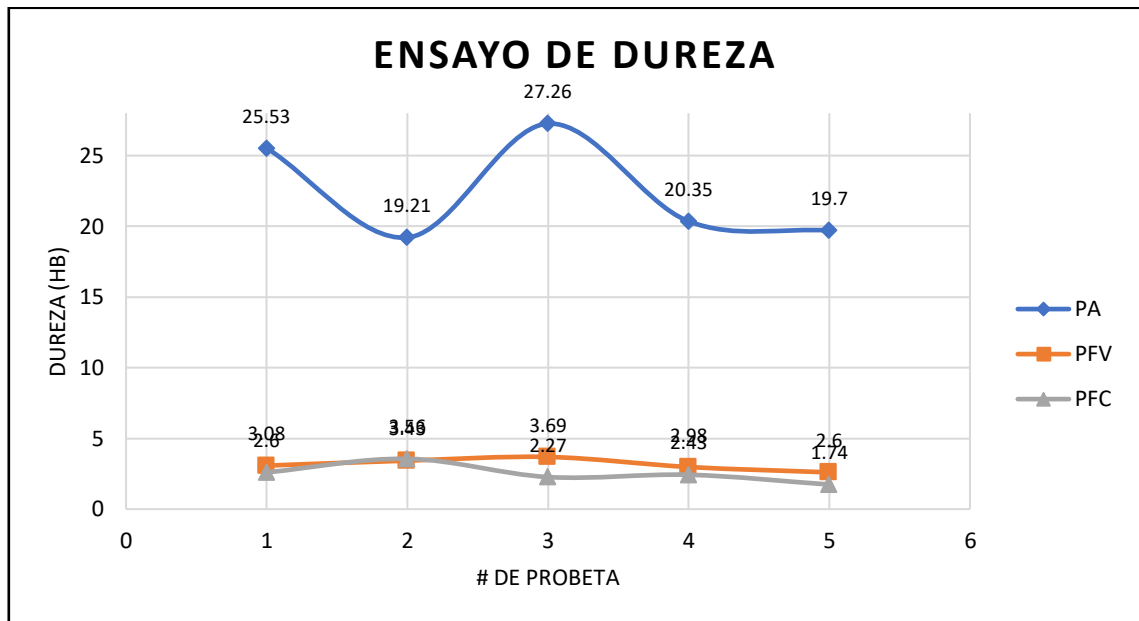
Por medio de prueba de hipótesis T-Student, para muestras relacionadas.

Tabla 3-4: Análisis comparativo del ensayo de dureza por medio de prueba de hipótesis

ENSAYO DE DUREZA																																													
PA vs. PFV			PA vs. PFC																																										
<p>Hipótesis nula: No hay variación en la dureza de la PA con PFV</p> $H_0 \rightarrow \mu_1 - \mu_2 = 0 \rightarrow \mu_1 = \mu_2$ <p>Hipótesis alternativa: Hay variación en la dureza de la PA con PFV</p> $H_1 \rightarrow \mu_1 - \mu_2 \neq 0 \rightarrow \mu_1 \neq \mu_2$ <p>Siguiendo la ecuación 2-2 y 2-3 se obtiene:</p> $\sigma^2 = 6.97 \quad \wedge \quad t = 11.53$ <p>Se calcula el valor T critico de tabla de probabilidad según los grados de libertad y el nivel de significancia según el ANEXO C</p> $GL = n_1 + n_2 - 2 = 8 \quad \alpha = 1\% = 0.01$ $T = 3.355 = \quad P - \text{valor} = 0.0000029$ <p>Como el valor de $t > T$ y $P < \alpha$ se rechaza la hipótesis nula, esto significa que existe una variación amplia en la dureza de la PA con PFV.</p> <p>Corroboración de datos con Excel:</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin-top: 10px;"> <thead> <tr> <th></th> <th style="text-align: center;"><i>PA</i></th> <th style="text-align: center;"><i>PFV</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Media</td> <td style="text-align: center;">22,410</td> <td style="text-align: center;">3,156</td> </tr> <tr> <td>Varianza</td> <td style="text-align: center;">13,771</td> <td style="text-align: center;">0,17653</td> </tr> <tr> <td>Varianza agrupada</td> <td style="text-align: center;">6,974</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Estadístico t</td> <td style="text-align: center;">11,528</td> <td></td> </tr> <tr> <td>P(T<=t) dos colas</td> <td style="text-align: center;">0,0000029</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Valor crítico de t (dos colas)</td> <td style="text-align: center;">3,355</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		<i>PA</i>	<i>PFV</i>	Media	22,410	3,156	Varianza	13,771	0,17653	Varianza agrupada	6,974		Estadístico t	11,528		P(T<=t) dos colas	0,0000029		Valor crítico de t (dos colas)	3,355				<p>Hipótesis nula: No hay variación en la dureza de la PA con PFC</p> $H_0 \rightarrow \mu_1 - \mu_3 = 0 \rightarrow \mu_1 = \mu_3$ <p>Hipótesis alternativa: Hay variación en la dureza de la PA con PFC</p> $H_1 \rightarrow \mu_1 - \mu_3 \neq 0 \rightarrow \mu_1 \neq \mu_3$ <p>Siguiendo la ecuación 2-2 y 2-3 se obtiene:</p> $\sigma^2 = 13.77 \quad \wedge \quad t = 11.79$ <p>Se calcula el valor T critico de tabla de probabilidad según los grados de libertad y el nivel de significancia según el ANEXO C</p> $GL = n_1 + n_2 - 2 = 8 \quad \alpha = 1\% = 0.01$ $T = 3.355 \quad P - \text{valor} = 0.0000024$ <p>Como el valor de $t > T$ y $P < \alpha$ se rechaza la hipótesis nula, esto significa que existe una variación significativa en la dureza de la PA con PFC.</p> <p>Corroboración de datos con Excel:</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin-top: 10px;"> <thead> <tr> <th></th> <th style="text-align: center;"><i>PA</i></th> <th style="text-align: center;"><i>PFC</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Media</td> <td style="text-align: center;">22,410</td> <td style="text-align: center;">2,52</td> </tr> <tr> <td>Varianza</td> <td style="text-align: center;">13,771</td> <td style="text-align: center;">0,44175</td> </tr> <tr> <td>Varianza agrupada</td> <td style="text-align: center;">7,106</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Estadístico t</td> <td style="text-align: center;">11,797</td> <td></td> </tr> <tr> <td>P(T<=t) dos colas</td> <td style="text-align: center;">0,0000024</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Valor crítico de t (dos colas)</td> <td style="text-align: center;">3,355</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		<i>PA</i>	<i>PFC</i>	Media	22,410	2,52	Varianza	13,771	0,44175	Varianza agrupada	7,106		Estadístico t	11,797		P(T<=t) dos colas	0,0000024		Valor crítico de t (dos colas)	3,355	
	<i>PA</i>	<i>PFV</i>																																											
Media	22,410	3,156																																											
Varianza	13,771	0,17653																																											
Varianza agrupada	6,974																																												
Estadístico t	11,528																																												
P(T<=t) dos colas	0,0000029																																												
Valor crítico de t (dos colas)	3,355																																												
	<i>PA</i>	<i>PFC</i>																																											
Media	22,410	2,52																																											
Varianza	13,771	0,44175																																											
Varianza agrupada	7,106																																												
Estadístico t	11,797																																												
P(T<=t) dos colas	0,0000024																																												
Valor crítico de t (dos colas)	3,355																																												

Realizado por: Autores

A continuación, se muestra un análisis comparativo del ensayo de dureza por medio de una gráfica comparativa



Gráfica 2-4: Análisis comparativo del ensayo de dureza por medio de una gráfica comparativa

Realizado por: Autores

El análisis de prueba de hipótesis se da a notar que existe variaciones de datos entre las probetas, la cual se puede comprobar con la gráfica comparativa realizada que no resulta viable realizar la sustitución de la fibra de cabuya por el amianto ya que la PFV es inferior a la PA con un 85.92% que equivale a un 19.25 HB de variación con un 14.3% en reducción de costo la cual no compensa con la variación que existe y tampoco resulta viable la sustitución de la fibra de cabuya por el amianto ya que PFC con la PA dio una variación muy elevada de 19.89 HB, que equivale a un 88.76% y una reducción del costo del 17.14% la cual no recompensa con la variación que existe.

4.3 Análisis comparativo del ensayo de desgaste

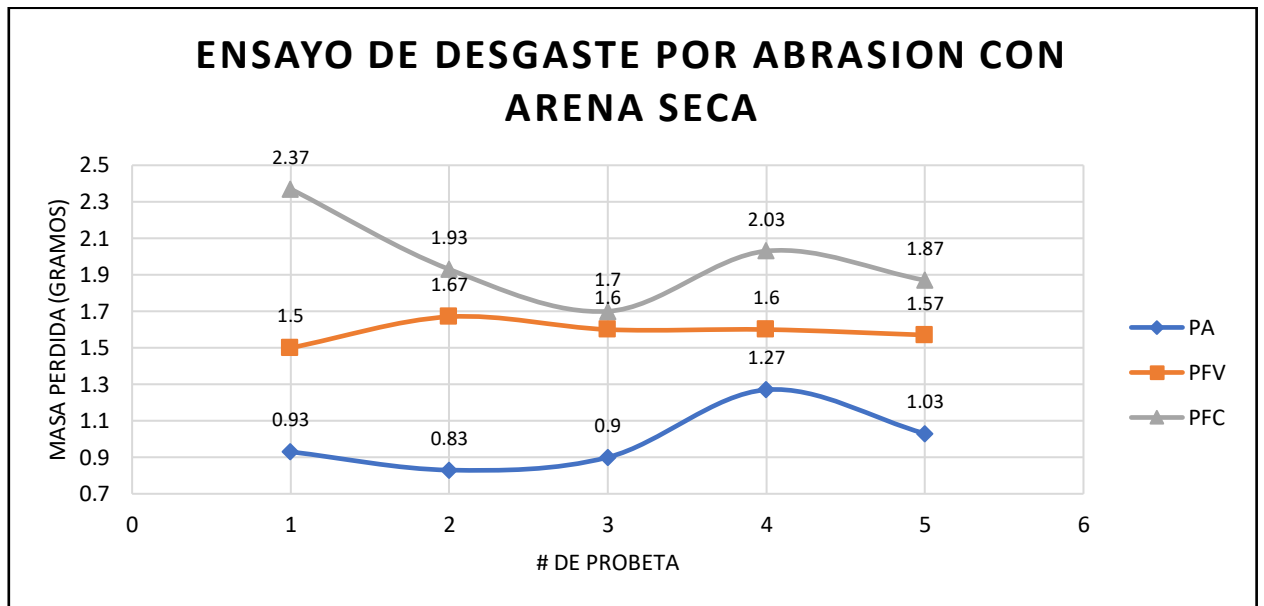
Por medio de prueba de hipótesis T-Student, para muestras relacionadas.

Tabla 4-1: Análisis comparativo del ensayo de desgaste por abrasión con arena seca por medio de prueba de hipótesis.

ENSAYO DE DESGASTE POR ABRASION CON ARENA SECA																																																	
PA vs. PFV	PA vs. PFC																																																
<p>Hipótesis nula: No hay variación en la masa perdida por desgaste en la PA PFV $H_0 \rightarrow \mu_1 - \mu_2 = 0 \rightarrow \mu_1 = \mu_2$</p> <p>Hipótesis alternativa: Hay diferencia en la masa perdida por desgaste en la PA con PFV $H_1 \rightarrow \mu_1 - \mu_2 \neq 0 \rightarrow \mu_1 \neq \mu_2$</p> <p>Siguiendo la ecuación 2-2 y 2-3 se obtiene:</p> $\sigma^2 = 0.0162 \quad \wedge \quad t = -7.391$ <p>Se calcula el valor T critico de tabla de probabilidad según los grados de libertad y el nivel de significancia según el ANEXO C</p> $GL = n_1 + n_2 - 2 = 8 \quad \alpha = 1\% = 0.01$ $T = 3.355 = \quad P - valor = 0.00008$ <p>Como el valor de $t > T$ y $P < \alpha$ se rechaza la hipótesis nula, esto significa que existe una variación de masa perdida por desgaste menor en la PA con PFV. Corroboración de datos con Excel:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>PA</th> <th>PFV</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Media</td> <td>0,993333333</td> <td>1,58666667</td> </tr> <tr> <td>Varianza</td> <td>0,028555556</td> <td>0,00366667</td> </tr> <tr> <td>Varianza agrupada</td> <td>0,016111111</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Grados de libertad</td> <td></td> <td>8</td> </tr> <tr> <td>Estadístico t</td> <td>-7,391047707</td> <td></td> </tr> <tr> <td>P(T<=t) dos colas</td> <td>7,6851E-05</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Valor crítico de t (dos colas)</td> <td>3,355387331</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		PA	PFV	Media	0,993333333	1,58666667	Varianza	0,028555556	0,00366667	Varianza agrupada	0,016111111		Grados de libertad		8	Estadístico t	-7,391047707		P(T<=t) dos colas	7,6851E-05		Valor crítico de t (dos colas)	3,355387331		<p>Hipótesis nula: No hay variación en la masa perdida por desgaste en la PA con PFC $H_0 \rightarrow \mu_1 - \mu_3 = 0 \rightarrow \mu_1 = \mu_3$</p> <p>Hipótesis alternativa: Hay variación en la masa perdida por desgaste en la PA con PFC $H_1 \rightarrow \mu_1 - \mu_3 \neq 0 \rightarrow \mu_1 \neq \mu_3$</p> <p>Siguiendo la ecuación 2-2 y 2-3 se obtiene:</p> $\sigma^2 = 0.045 \quad \wedge \quad t = -7.354$ <p>Se calcula el valor T critico de tabla de probabilidad según los grados de libertad y el nivel de significancia según el ANEXO C</p> $GL = n_1 + n_2 - 2 = 8 \quad \alpha = 1\% = 0.01$ $T = 3.355 \quad P - valor = 0.00008$ <p>Como el valor de $t > T$ y $P < \alpha$ se rechaza la hipótesis nula, esto significa que existe una variación de masa perdida por desgaste menor en la PA con PFC. Corroboración de datos con Excel:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>PA</th> <th>PFV</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Media</td> <td>0,993333333</td> <td>1,98</td> </tr> <tr> <td>Varianza</td> <td>0,028555556</td> <td>0,06144444</td> </tr> <tr> <td>Observaciones</td> <td>5</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>Varianza agrupada</td> <td>0,045</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Estadístico t</td> <td>-7,354179126</td> <td></td> </tr> <tr> <td>P(T<=t) dos colas</td> <td>7,96184E-05</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Valor crítico de t (dos colas)</td> <td>3,355387331</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		PA	PFV	Media	0,993333333	1,98	Varianza	0,028555556	0,06144444	Observaciones	5	5	Varianza agrupada	0,045		Estadístico t	-7,354179126		P(T<=t) dos colas	7,96184E-05		Valor crítico de t (dos colas)	3,355387331	
	PA	PFV																																															
Media	0,993333333	1,58666667																																															
Varianza	0,028555556	0,00366667																																															
Varianza agrupada	0,016111111																																																
Grados de libertad		8																																															
Estadístico t	-7,391047707																																																
P(T<=t) dos colas	7,6851E-05																																																
Valor crítico de t (dos colas)	3,355387331																																																
	PA	PFV																																															
Media	0,993333333	1,98																																															
Varianza	0,028555556	0,06144444																																															
Observaciones	5	5																																															
Varianza agrupada	0,045																																																
Estadístico t	-7,354179126																																																
P(T<=t) dos colas	7,96184E-05																																																
Valor crítico de t (dos colas)	3,355387331																																																

Realizado por: Autores

A continuación, se muestra un análisis comparativo del ensayo de desgaste por abrasión con arena seca por medio de una gráfica comparativa



Gráfica 3-4: Análisis comparativo del ensayo de desgaste por abrasión con arena seca

Realizado por: Autores

El análisis de prueba de hipótesis se da a notar que existe variaciones de datos entre las probetas, la cual se puede comprobar con la gráfica comparativa realizada que no resulta viable realizar la sustitución de la fibra de cabuya por el amianto ya que la PFV tiene más desgaste a la PA con un 60% que equivale a un 0.596 g de variación con un 14.3% en reducción de costo la cual no compensa con la variación que existe y tampoco resulta viable la sustitución de la fibra de cabuya por el amianto ya que PFC con la PA dio una variación muy elevada de desgaste de 0.988 g que equivale a un 99.5% y una reducción del costo del 17.14% la cual no recompensa con la variación que existe.

4.4 Análisis comparativo del ensayo de desgaste “PIN ON DISK”

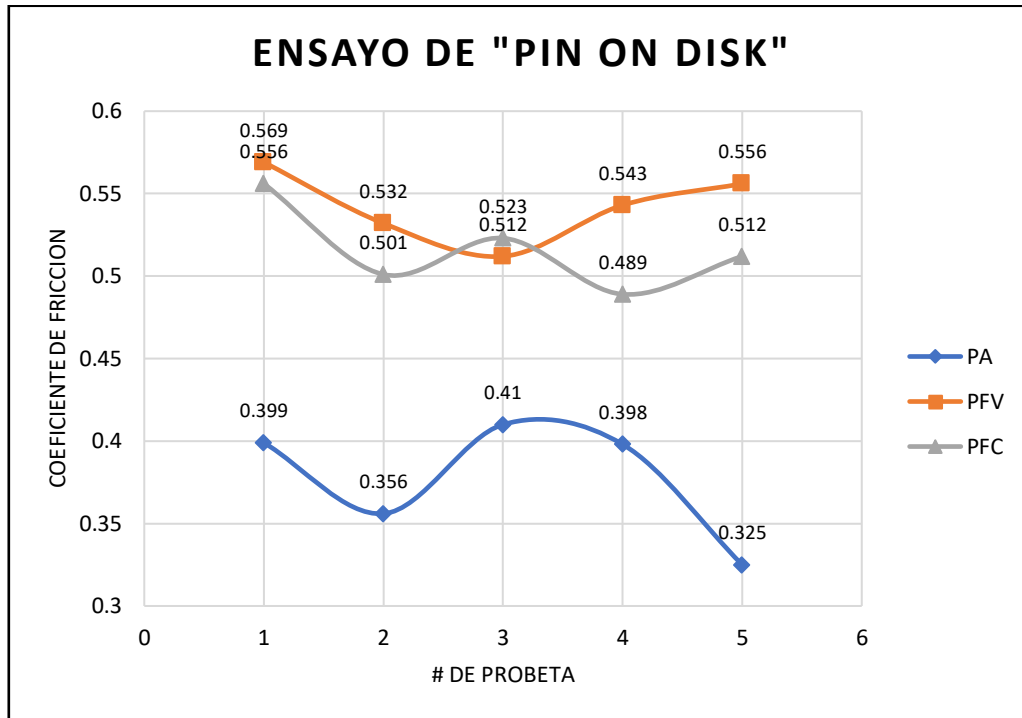
Por medio de prueba de hipótesis T-Student, para muestras relacionadas.

Tabla 5-4: Análisis comparativo del ensayo de desgaste “PIN ON DISK” por medio de prueba de hipótesis

ENSAYO “PIN ON DISK”																																																		
PA vs. PFV			PA vs. PFC																																															
<p>Hipótesis nula: No hay variación en el coeficiente de fricción en la PA con PFV $H_0 \rightarrow \mu_1 - \mu_2 = 0 \rightarrow \mu_1 = \mu_2$</p> <p>Hipótesis alternativa: Hay variación en el coeficiente de fricción en la PA con PFV $H_1 \rightarrow \mu_1 - \mu_2 \neq 0 \rightarrow \mu_1 \neq \mu_2$</p> <p>Siguiendo la ecuación 2-2 y 2-3 se obtiene: $\sigma^2 = 0.0008853 \quad \wedge \quad t = -8.75$</p> <p>Se calcula el valor T crítico de tabla de probabilidad según los grados de libertad y el nivel de significancia según el ANEXO C $GL = n_1 + n_2 - 2 = 8 \quad \alpha = 1\% = 0.01$ $T = 3.355 = \quad P - valor = 0.000022$</p> <p>Como el valor de $t > T$ y $P < \alpha$ se rechaza la hipótesis nula, esto significa que existe una variación del coeficiente de fricción menor en la PA con PFV. Corroboración de datos con Excel:</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin-top: 10px;"> <thead> <tr> <th></th> <th style="text-align: center;">PA</th> <th style="text-align: center;">PFV</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Media</td> <td style="text-align: center;">0,3776</td> <td style="text-align: center;">0,5424</td> </tr> <tr> <td>Varianza</td> <td style="text-align: center;">0,0012893</td> <td style="text-align: center;">0,0004813</td> </tr> <tr> <td>Varianza agrupada</td> <td style="text-align: center;">0,0008853</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Grados de libertad</td> <td style="text-align: center;">8</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Estadístico t</td> <td style="text-align: center;">-8,75753697</td> <td></td> </tr> <tr> <td>P(T<=t) dos colas</td> <td style="text-align: center;">2,26415E-05</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Valor crítico de t (dos colas)</td> <td style="text-align: center;">3,355387331</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		PA	PFV	Media	0,3776	0,5424	Varianza	0,0012893	0,0004813	Varianza agrupada	0,0008853		Grados de libertad	8		Estadístico t	-8,75753697		P(T<=t) dos colas	2,26415E-05		Valor crítico de t (dos colas)	3,355387331		<p>Hipótesis nula: No hay variación en el coeficiente de fricción en la PA con PFC $H_0 \rightarrow \mu_1 - \mu_2 = 0 \rightarrow \mu_1 = \mu_2$</p> <p>Hipótesis alternativa: Hay variación en el coeficiente de fricción en la PA con PFC $H_1 \rightarrow \mu_1 - \mu_2 \neq 0 \rightarrow \mu_1 \neq \mu_2$</p> <p>Siguiendo la ecuación 2-2 y 2-3 se obtiene: $\sigma^2 = 0.000972 \quad \wedge \quad t = -7.029$</p> <p>Se calcula el valor T crítico de tabla de probabilidad según los grados de libertad y el nivel de significancia según el ANEXO C $GL = n_1 + n_2 - 2 = 8 \quad \alpha = 1\% = 0.01$ $T = 3.355 \quad P - valor = 0.00012$</p> <p>Como el valor de $t > T$ y $P < \alpha$ se rechaza la hipótesis nula, esto significa que existe una variación del coeficiente de fricción menor en la PA con PFC. Corroboración de datos con Excel:</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin-top: 10px;"> <thead> <tr> <th></th> <th style="text-align: center;">PA</th> <th style="text-align: center;">PFC</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Media</td> <td style="text-align: center;">0,3776</td> <td style="text-align: center;">0,5162</td> </tr> <tr> <td>Varianza</td> <td style="text-align: center;">0,0012893</td> <td style="text-align: center;">0,0006547</td> </tr> <tr> <td>Varianza agrupada</td> <td style="text-align: center;">0,000972</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Grados de libertad</td> <td style="text-align: center;">8</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Estadístico t</td> <td style="text-align: center;">-7,029106</td> <td></td> </tr> <tr> <td>P(T<=t) dos colas</td> <td style="text-align: center;">0,0001094</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Valor crítico de t (dos colas)</td> <td style="text-align: center;">3,3553873</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>			PA	PFC	Media	0,3776	0,5162	Varianza	0,0012893	0,0006547	Varianza agrupada	0,000972		Grados de libertad	8		Estadístico t	-7,029106		P(T<=t) dos colas	0,0001094		Valor crítico de t (dos colas)	3,3553873	
	PA	PFV																																																
Media	0,3776	0,5424																																																
Varianza	0,0012893	0,0004813																																																
Varianza agrupada	0,0008853																																																	
Grados de libertad	8																																																	
Estadístico t	-8,75753697																																																	
P(T<=t) dos colas	2,26415E-05																																																	
Valor crítico de t (dos colas)	3,355387331																																																	
	PA	PFC																																																
Media	0,3776	0,5162																																																
Varianza	0,0012893	0,0006547																																																
Varianza agrupada	0,000972																																																	
Grados de libertad	8																																																	
Estadístico t	-7,029106																																																	
P(T<=t) dos colas	0,0001094																																																	
Valor crítico de t (dos colas)	3,3553873																																																	

Realizado por: Autores

A continuación, se muestra un análisis comparativo del ensayo “PIN ON DISK” por medio de una gráfica comparativa



Gráfica 4-4: Análisis comparativo del ensayo “PIN ON DISK”

Realizado por: Autores

En el análisis de prueba de hipótesis se da a notar que existe variaciones de datos entre las probetas, la cual se puede comprobar con la gráfica comparativa realizada que resulta viable realizar la sustitución de la fibra de cabuya por el amianto ya que la PFV tiene más coeficiente de fricción a la PA con un 43.6% que equivale a un 0.1648 de variación con un 14.3% en reducción de costo y también resulta viable la sustitución de la fibra de cabuya por el amianto ya que PFC con la PA dio una variación elevada de coeficiente de fricción de 0.1386 que equivale a un 36.7 % y una reducción del costo del 17.14%.

4.5 Discusión

Por los resultados obtenidos en los diferentes ensayos se puede determinar que las probetas de pastillas de frenos realizadas con fibras de cabuya y de vidrio poseen unas características mecánicas y tribológicas menores a las probetas con amianto.

Siendo el valor de la tasa de desgaste una de las características que más difiere entre las probetas ensayadas, esto se debe a la relación existente entre las tasas de desgaste con el coeficiente de fricción y la dureza en mayor medida. Así mientras que en las probetas de fibras de cabuya

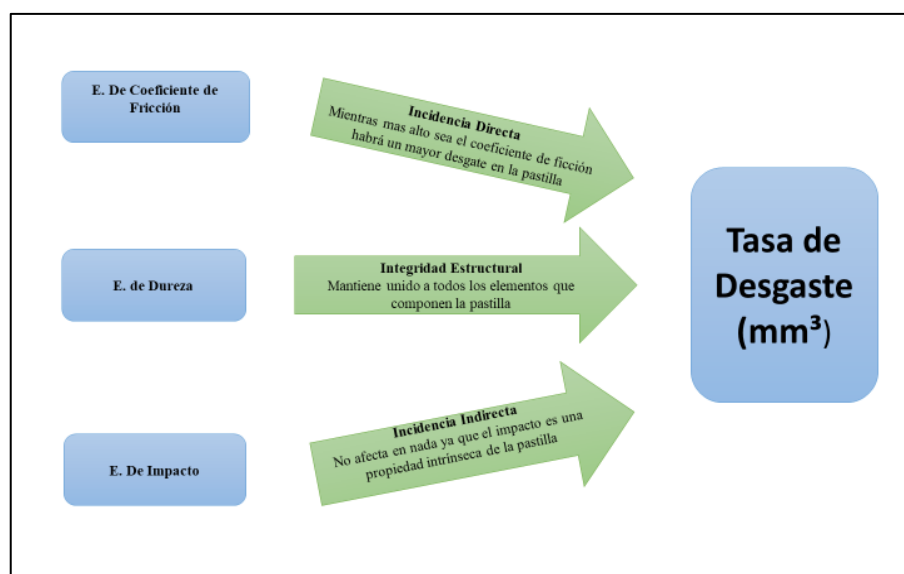
tenemos un coeficiente de fricción de 0.54 notamos un mayor desgaste ya que en el instante de frenado el rozamiento produce un mayor desprendimiento de partículas. Mientras que las probetas de fibra de vidrio tejida con un coeficiente de fricción de 0.51 mostro características de desgaste similares a las probetas anteriores con un desgaste acelerado en relación con las probetas de fibra de amianto que poseían un valor de coeficiente de fricción de 0,37 lo que les proporcionaba un menor desgaste en las frenadas.

Los valores de resistencia al impacto de las probetas de fibras de cabuya y de vidrio resultaron ser menores en función del de las probetas de amianto, teniendo las de fibra de vidrio un 24% menos y la de las de fibra de cabuya un 54% menos de resistencia al impacto. Resultados que van en función de la dureza de las probetas con amianto que obtuvieron un valor de dureza de 22.41 HB en los ensayos, mientras que las probetas de fibra de vidrio alcanzaron un 84% menos dureza y las de fibras de cabuya un 86% menos de dureza.

Debido a las características mencionadas anteriormente se tiene que las variables tanto de coeficiente de fricción, dureza y resistencia al impacto afectan a la duración de las probetas de pastillas de frenos de fibras de cabuya y vidrio tejidas en relación de las de fibra de amianto esto se traduce en duración de kilometraje de 25.000 km para las probetas de amianto, 15.000 km para las de fibras de vidrio tejidas y 5.000 km para las de fibras de cabuya.

Mas sin embargo se puede resaltar características interesantes presentadas por las probetas fibras de cabuya y vidrio como son un coeficiente de fricción alto, un bajo costo y la eliminación total del amianto en su estructura.

Relación con la tasa de desgaste



Gráfica 5-4: Relación de los ensayos con la tasa de desgaste

Realizado por: Autores

4.6 Conclusiones preliminares

- Se pudo analizar por medio de métodos estadístico que existe variación de datos de los distintos ensayos siendo la fibra de vidrio el mejor reemplazante ya que sus valores no están tan alejados del parámetro comparativo siendo este el PA.
- De los ensayos Pin on Disk, resulto un **coeficiente de fricción** mayor en probetas que contiene fibra de vidrio y fibra de cabuya que las que contiene amianto, causando que la pastilla tenga una mejor adherencia y por ende al estar en funcionamiento va a presentar un mayor desgaste y una vida más corta (15000 Km).
- Del ensayo de impacto y dureza, resultó una absorción de energía muy baja en las probetas que contienen fibra de vidrio y cabuya, que las que contiene amianto, causando que dichas pastillas sean más frágiles o con poca dureza.
- De los ensayos de desgaste se pudo determinar la duración entre las probetas de cada tipo, considerando que las pastillas se cambian cada 25.000 km, dando un costo de 3.5\$ por sustitución de cada pastilla con amianto, mientras que las de fibra de vidrio durarían unos 15.000 km y costarían aproximadamente 2.1\$ y las de fibras de cabuya 5.000 km con un costo de 0.875\$.
- Considerando los resultados obtenidos en los diversos ensayos, las características mecánicas de las probetas de pastillas con fibra de vidrio y fibra de cabuya resulta ser menor a las probetas de amianto, por lo que se debe considerar modificar los parámetros de proporción de materiales en la mezcla, así como el proceso de fabricación para lograr características similares a las probetas de amianto.

CONCLUSIONES

- Se elaboro las probetas con cabuya y fibra de vidrio tejida, con las dimensiones establecidas en las normas correspondientes para cada uno de los ensayos tribológicos y mecánicos, a las que se sometieron las probetas.
- Se realizaron los diferentes tipos de análisis tribológicos y mecánicos a las probetas para su caracterización, los ensayos realizados fueron: impacto o péndulo de Charpy que se basó en la norma ASTM E 23, dureza con la norma ASTM, desgaste por abrasión de arena seca con la norma ASTM G 65, y desgaste pin on disk bajo la norma ASTM G 99.
- Se comparó los datos de los diferentes ensayos tribológicos con las propiedades de las pastillas existentes en el mercado mediante el método estadístico de pruebas T-Student, lo que permitió descartar la hipótesis nula y comprobar la hipótesis alternativa con p-valor 0,0005, estando por muy debajo del valor límite de significancia (0,01) o 1% de confiabilidad.
- Se determino que las probetas con fibras de cabuya y vidrio no logran alcanzar las características mecánicas de las probetas con amianto, por lo que no tendría un uso comercial, pero las características como su alto coeficiente de fricción, tenacidad y la ausencia de amianto pueden llegar a ser usado en vehículos ligeros.

RECOMENDACIONES

- Realizar una búsqueda y estudio de otros materiales reemplazantes del amianto en diferentes proporciones en la elaboración de probetas y analizar la variación de sus propiedades, hasta tratar de obtener un material menos nocivo para el ecosistema, y que tenga una vida útil igual o mayor.
- Se recomienda el uso de herramientas de medición con rangos de sensibilidad alta para lograr mayor precisión tanto en la elaboración de las probetas, realización de ensayos y toma de resultados, para las variables de peso, masa, volumen y distancias.
- Revisar las normas con las que se realizara los distintos ensayos, esto debido a que no seguir los dichos parámetros pueden ocasionar errores en los resultados obtenidos y puedan ser comparables con trabajos de la misma índole.
- Se recomiendo tener precaución durante la manipulación de las máquinas de los distintos ensayos, así como la inspección del estado de estas, para evitar accidentes. También el uso de equipo de protección como guantes, mascarilla, gafas de protección, para la elaboración de las probetas, esto debido a que los componentes químicos con los que se trabaja pueden producir irritaciones en la piel o en las vías respiratorias.

BIBLIOGRAFÍA

ALONSO PÉREZ, J.M., *Sistemas de transmisión y frenado*. 2. Madrid: Paraninfo, 2001.

ALONSO PÉREZ, J.M., *Sistemas de transmisión y frenado: Transporte y mantenimiento de vehículos : Electromecánica de vehículos*. Madrid: Paraninfo, 2014.

AUTOMOTRIZ MAVER. Al frenar el pedal se va hasta el fondo. *Blog* [en línea], 2019. [Consulta: 19 septiembre 2019]. Disponible en: <https://automotrizmaver.com/blog/el-pedal-de-freno-se-va-al-fondo/>.

BARRACHINA, J.A. Tribómetro «Pin-on-disk» :: Servicios Científico-técnicos de la UPC. [en línea], 2019. [Consulta: 16 julio 2019]. Disponible en: <https://www.upc.edu/sct/es/equip/510/tribometro-pin-on-disk.html>.

BROSTOW, W., DEBORDE, J.-L. y JAKLEWICZ, M., 2003. TRIBOLOGÍA CON ÉNFASIS EN POLÍMEROS: FRICCIÓN, RESISTENCIA AL RAYADO Y AL DESGASTE. , vol. 24, pp. 15. ISSN 0738-7989.

Calibrador. En: Page Version ID: 117317600, *Wikipedia, la enciclopedia libre* [en línea], 2019. [Consulta: 16 julio 2019]. Disponible en: [https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Calibre_\(instrumento\)&oldid=117317600](https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Calibre_(instrumento)&oldid=117317600).

CASTRO, C.A.F., PEREIRA, J.I., MARANHO, O., SILVA, C.H. da, CASTRO, C.A.F., PEREIRA, J.I., MARANHO, O. y SILVA, C.H. da, 2015. Resistencia al desgaste de materiales de las orugas de tractores después del proceso de recuperación. *Matéria (Rio de Janeiro)*, vol. 20, no. 1, pp. 8-22. ISSN 1517-7076. DOI 10.1590/S1517-707620150001.0005.

CORONEL C. Fibra de Carbono. Fibra de Vidrio Kevlar. - ppt video online descargar. [en línea], 2015. [Consulta: 25 julio 2019]. Disponible en: <https://slideplayer.es/slide/2741029/>.

DE MAQUINAS Y HERRAMIENTAS. La Fresadora CNC. *De Máquinas y Herramientas* [en línea], 2019. [Consulta: 16 julio 2019]. Disponible en: <https://www.demaquinasyherramientas.com/mecanizado/fresadoras-cnc>.

DOMÍNGUEZ, E.J. y FERRER, J., *Sistemas de transmisión y frenado*. Pozuelo de Alarcón, Madrid: Editex, 2012.

DUQUE, N.A.T. *OBTENCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DE MATRIZ POLIÉSTER REFORZADOS CON FIBRA DE CABUYA MEDIANTE ESTRATIFICACIÓN* [en línea]. Quito: Universidad Politecnica Nacional, 2012. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/4714>.

FEMTO. Balanza digital. [en línea], 2019. [Consulta: 16 julio 2019]. Disponible en: <https://www.femto.es/balanza-digital>.

GHARAGOZLOU Y. ASTM E23 Ensayo de impacto Charpy de muestras pequeñas - Instron. *INSTRON* [en línea], 2017. [Consulta: 23 julio 2019]. Disponible en:

<https://www.instron.com.ar/Testing%20Solutions/By%20Material/Metals/Impact/ASTM%20E23%20%20Sub%20Size>.

GÓMEZ, C.F.L. “ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD PARA LA PRODUCCIÓN DE PASTILLAS DE FRENO EN LA PROVINCIA DE TUNGURAHUA”, de [en línea]. Ambato: Universidad Técnica de Ambato, 2007. Disponible en: <http://repositorio.uta.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/302/1/t256id.pdf>.

GUTIERREZ QUINTERO, W., TORRES SANABRIA, M.D.P. y OLAYA FLOREZ, J.J., 2015. Construcción de un equipo para desgaste abrasivo según norma ASTM G-65. *Scientia et technica*, vol. 20, no. 3, pp. 217. ISSN 2344-7214, 0122-1701. DOI 10.22517/23447214.9327.

INGEMECANICA. Ensayos de Dureza en los Materiales. *ingemecanica* [en línea], 2018. [Consulta: 21 julio 2019]. Disponible en: <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn218.html>.

KASHIMA UNIVERSITY. Frenos de disco: Pinzas de freno. [en línea], 2013. [Consulta: 19 septiembre 2019]. Disponible en: <http://kashima.campuseina.com/mod/book/view.php?id=7614&chapterid=9447>.

KIRNOSOV V. Ensayo a la dureza Brinell - EcuRed. [en línea], 2013. [Consulta: 21 julio 2019]. Disponible en: https://www.ecured.cu/Ensayo_a_la_dureza_Brinell.

LADYVERD. Contaminación automovil, no sólo el escape. *Ladyverd* [en línea], 2015 [Consulta: 17 junio 2019]. Disponible en: <http://www.ladyverd.com/contaminacion-automovil-solo-el-escape/>.

LIND, D.A., MARCHAL, W.G. y WATHEN, S.A., *Estadística aplicada a los negocios y la economía decimoquinta edición* [en línea]. 15. México: McGraw-Hill, 2012. [Consulta: 19 septiembre 2019]. Disponible en: http://www.ingebook.com/ib/NPcd/IB_BooksVis?cod_primaria=1000187&codigo_libro=5687.

LNE. Probetas de referencia LNE Charpy-V. [en línea], 2016. [Consulta: 30 julio 2019]. Disponible en: <https://lne-charpy.com/es/16-home-page/15-what-is-charpy>.

LUQUE C. Tipos y características de las pastillas de frenos. *Montilla Abierta* [en línea], 2015. [Consulta: 17 junio 2019]. Disponible en: <http://montillabierta.es/14157-2/>.

Péndulo de Charpy. En: Page Version ID: 117099526, *Wikipedia, la enciclopedia libre* [en línea], 2019. [Consulta: 16 julio 2019]. Disponible en: https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=P%C3%A9ndulo_de_Charpy&oldid=117099526.

Pirómetro. En: Page Version ID: 115223914, *Wikipedia, la enciclopedia libre* [en línea], 2019. [Consulta: 16 julio 2019]. Disponible en: <https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Pir%C3%B3metro&oldid=115223914>.

SUAREZ, M. Distribución t de Student empleando. [en línea], 2019. [Consulta: 9 septiembre 2019]. Disponible en: <https://www.monografias.com/trabajos93/distribucion->

t-student-empleando-excel-y-graph/distribucion-t-student-empleando-excel-y-graph.shtml.

TAMAYO, L.B. *Estudio de la eficiencia de frenado para valorar pastillas de freno de producción* [en línea]. Quito: UIDE, 2016. Disponible en: <https://repositorio.uide.edu.ec/handle/37000/1052>.

TP - LABORATORIO QUÍMICO. Mufla » TP - Laboratorio Químico. *TP - Laboratorio Químico* [en línea], 2019. [Consulta: 16 julio 2019]. Disponible en: <https://www.tplaboratorioquimico.com/laboratorio-quimico/materiales-e-instrumentos-de-un-laboratorio-quimico/horno-mufla.html>.

V. MARTINENKO, L. LEVEDEV, L.PAZOS, G. ABATE y D.MARTINEZ. (PDF) Diseño y construcción de una máquina pin-on disk para la determinación de coeficientes de fricción y un ejemplo de aplicación | Vitaliy Martynenko. [en línea], 2015. [Consulta: 17 junio 2019]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/280085064_Diseño_y_construcción_de_una_maquina_pin-on_disk_para_la_determinación_de_coeficientes_de_fricción_y_un_ejemplo_de_aplicación?_esc=publicationCoverPdf&el=1_x_3&enrichId=rgreq-fb05201077b7b03b43b3dd088c405b36-XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdlOzI4MDA4NTA2NDtBUzoyNTE3NzE3MDAzNzk2NDhAMTQzNzAzODQ1OTE3MQ%3D%3D.

ASTM G99-17. *Standart Test Method for Wear Testing with a Pin-on-Disk Apparatus*

ASTM E10 - 18. *Standard Test Method for Brinell Hardness of Metallic Materials*

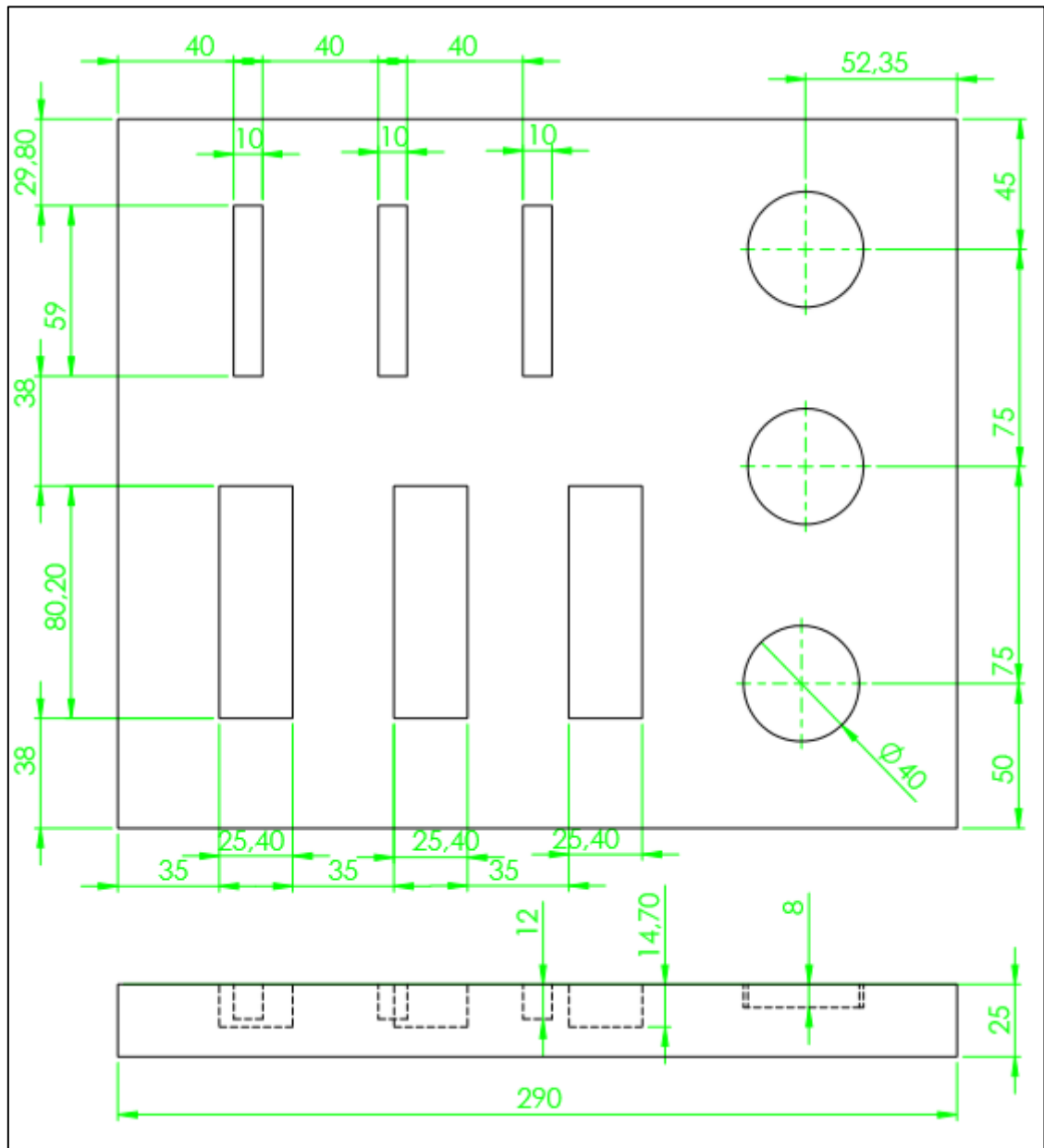
ASTM E23. *Ensayo de impacto Charpy de muestras pequeñas*

ASTM G65 - 16e1. *Standard Test Method for Measuring Abrasion Using the Dry Sand/Rubber Wheel Apparatus*

ANEXOS

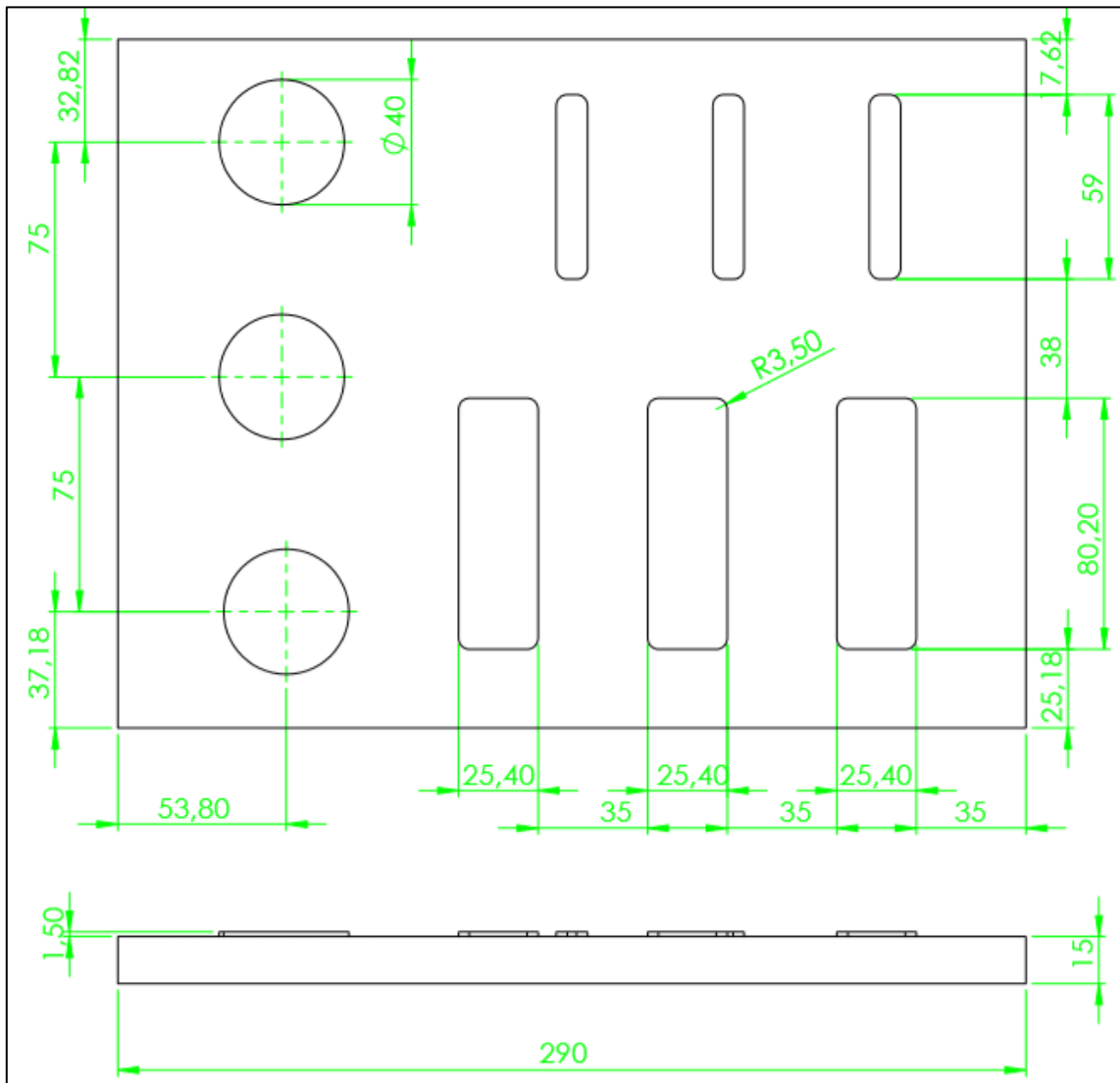
Anexo A: Dimensiones del molde de probetas

Realizado por: Autores



Anexo B: Dimensiones de la tapa del molde de probetas

Realizado por: Autores



Anexo C: Tabla de distribución t-Sudán de dos colas

Realizado por: (Suarez 2019)

TABLA DISTRIBUCIÓN t DE STUDENT									
Ejemplos: Para n-1 = 10 grados de libertad $P(t > 1,812) = 0,05$ $P(t < -1,812) = 0,05$									
α n-1	0,25	0,2	0,15	0,1	0,05	0,025	0,01	0,005	0,0005
1	1,0000	1,3764	1,9626	3,0777	6,3138	12,7062	31,8205	63,6567	636,6192
2	0,8165	1,0607	1,3862	1,8856	2,9200	4,3027	6,9646	9,9248	31,5991
3	0,7649	0,9785	1,2498	1,6377	2,3534	3,1824	4,5407	5,8409	12,9240
4	0,7407	0,9410	1,1896	1,5332	2,1318	2,7764	3,7469	4,6041	8,6103
5	0,7267	0,9195	1,1558	1,4759	2,0150	2,5706	3,3649	4,0321	6,8688
6	0,7176	0,9057	1,1342	1,4398	1,9432	2,4469	3,1427	3,7074	5,9588
7	0,7111	0,8960	1,1192	1,4149	1,8946	2,3646	2,9980	3,4995	5,4079
8	0,7064	0,8889	1,1081	1,3968	1,8595	2,3060	2,8965	3,3554	5,0413
9	0,7027	0,8834	1,0997	1,3830	1,8331	2,2622	2,8214	3,2498	4,7809
10	0,6998	0,8791	1,0931	1,3722	1,8125	2,2281	2,7638	3,1693	4,5869
11	0,6974	0,8755	1,0877	1,3634	1,7959	2,2010	2,7181	3,1058	4,4370

Anexo D: Resultados del ensayo PIN ON DISK



CENTRO DE TRANSFERENCIA Y TECNOLOGÍA FACULTAD INGENIERIA CIVIL Y MECÁNICA - UTA



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
INGENIERÍA MECÁNICA**

ENSAYO PIN ON DISK

JULIO DE 2019
AMBATO – ECUADOR

INFORME TÉCNICO
Lb1-0001-2019

Objetivo

Determinación del desgaste debido a la fricción del pin sobre diversos materiales.

Alcance

Aplicable a medición de desgaste por pin en superficies planas cuantificando valor en función de la masa perdida.

Proceso de medida bajo normas: ASTM G-99.

ANTECEDENTES:

Con fecha 25 de Julio de 2019, el Sr. William Toasa, domiciliado en la ciudad de Ambato – Tungurahua, solicita al Centro de Transferencia y Tecnología de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, para medir el desgaste mediante la máquina de pin en disco.

Se reciben 15 muestras o probetas, con lo cual se pretende estimar la variación en peso para cada una.

PROCESO GENERAL:

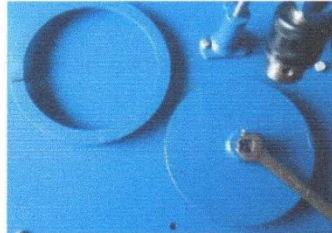
Encendemos la máquina con la ayuda de la botonera On-Of.



Con la llave desajustamos el mandril para colocar los pines a ensayar y ajustamos (nota: el mandril acoge pines de 2 mm a 10 mm este rango es considerado bajo norma ASTM G-99).



Retiramos el seguro del disco y colocamos el disco en base de disco de ensayo y lo aseguramos, para lo cual utilizamos una llave de $\frac{1}{2}$ pulg. (nota: en caso de utilizar discos de espesor menor a 2 mm es recomendable utilizar el anillo de sujeción para evitar vibraciones y pandeos en el disco.)



CONDICIONES DE ENSAYO

Velocidad	Fuerza Aplicada	Distancia recorrida	Radio del ensayo
560 rpm	24.5N	500m	18

Calibración del Equipo

- Dependiendo del diámetro de disco que se va ensayar, anticipadamente hay que calibrar el brazo con el pin a la mitad del radio del disco, ya que hay que digitar este dato en la pantalla del sistema para un correcto recorrido.
- Una vez fijado el pin y el disco debemos equilibrar el peso del brazo con los pesos de equilibrio ya que para el ensayo no debe interferir el peso del brazo solo la carga aplicada, para esto nos guiamos en el nivel que está colocado sobre el brazo.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO						
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA						
Centro de Transferencia y Tecnología						
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS						
DATOS INFORMATIVOS:						
Fecha:	29/07/2019		Ciudad:	Ambato		
Lugar:	Laboratorios de Materiales de la FICM			Campus Huachi		
Equipo:	Máquina Pin on Disk					
Realizado por:	Gustavo Pomaquero		Revisado por:	Ing. Sebastián Villegas		
Tipo de material:	Amianto-Fibra de Cabuya-Fibra de Vidrio.					
PARÁMETROS DE ENSAYO						
Tipo de Medición:	Pesos		Norma:	ASTM G 99		
Dimensiones (mm):	43.5x9 mm 40x6 mm		Nº de probetas:	15		
Probetas con Amianto						
Muestras	Peso Inicial	Peso final 1	Peso final 2	Peso final 3	Peso final Promedio	Diferencia de pesos (g)
Probeta 1	36,3	36,1	36,2	36,1	36,133	0,167
Probeta 2	35,5	35,3	35,4	35,4	35,367	0,133
Probeta 3	35,4	35,1	35,2	35,2	35,167	0,233
Probeta 4	36,1	36	35,9	35,9	35,933	0,167
Probeta 5	35,2	35	35	35	35,000	0,200
Probetas con Fibra de Cabuya						
Muestras	Peso Inicial	Peso final 1	Peso final 2	Peso final 3	Peso final Promedio	Diferencia de pesos (g)
Probeta 1	8,3	7,9	7,9	7,8	7,867	0,433
Probeta 2	8,5	8	8	8,1	8,033	0,467
Probeta 3	8,1	7,7	7,7	7,7	7,700	0,400
Probeta 4	8,2	7,7	7,8	7,8	7,767	0,433
Probeta 5	8	7,6	7,5	7,6	7,567	0,433
Probetas con Fibra de Vidrio						
Muestras	Peso Inicial	Peso final 1	Peso final 2	Peso final 3	Peso final Promedio	Diferencia de pesos (g)
Probeta 1	8,8	8,5	8,5	8,5	8,500	0,300
Probeta 2	7,8	7,4	7,4	7,5	7,433	0,367
Probeta 3	7,5	7,1	7,2	7,2	7,167	0,333
Probeta 4	7,9	7,5	7,5	7,6	7,533	0,367
Probeta 5	7,9	7,6	7,6	7,6	7,600	0,300



CENTRO DE TRANSFERENCIA Y TECNOLOGÍA FACULTAD INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA - UTA




.....
Ing. Gustavo Pomaquero
TÉCNICO LABORATORISTA




.....
Ing. Sebastián Villegas
TÉCNICO DE LABORATORIO

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS Y RECURSOS PARA
EL APRENDIZAJE Y LA INVESTIGACIÓN
UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS
REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 11 / Noviembre / 2019

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: Alex Xavier Martínez Pilamunga William Fernando Toasa Toapanta
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: Mecánica
Carrera: Ingeniería Automotriz
Título a optar: Ingeniero Automotriz
f. Analista de bibliotecas responsable: Ing. Rafael Inty Salto Hidalgo