



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRÍZ

COMPROBACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LAS PASTILLAS DE FRENO TIPO CERÁMICAS Y ELABORACIÓN DE LAS PROBETAS DE ENSAYO PARA VERIFICAR EL COMPORTAMIENTO DE LOS MATERIALES

TRABAJO DE TITULACIÓN

Tipo: Trabajo Experimental

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

AUTORES:

EDWIN PAÚL YUNGA TOAQUIZA

ROBINSON STALIN OCAMPO VISUMA

Riobamba – Ecuador

2021



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRÍZ

COMPROBACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LAS PASTILLAS DE FRENO TIPO CERÁMICAS Y ELABORACIÓN DE LAS PROBETAS DE ENSAYO PARA VERIFICAR EL COMPORTAMIENTO DE LOS MATERIALES

TRABAJO DE TITULACIÓN:

Tipo: Trabajo Experimental

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

Autores:

EDWIN PAÚL YUNGA TOAQUIZA

ROBINSON STALIN OCAMPO VISUMA

DIRECTOR: Ing. EDER LENIN CRUZ SIGUENZA

Riobamba – Ecuador

2021

©2021, Edwin Paúl Yunga Toaquiza & Robinson Stalin Ocampo Visuma

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, Edwin Paúl Yunga Toaquiza y Robinson Stalin Ocampo Visuma, declaramos que el presente trabajo de titulación es de nuestra autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

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

Riobamba, 13 de septiembre del 2021.



Edwin Paúl Yunga Toaquiza
C.I. 172312335-0



Robinson Stalin Ocampo Visuma
C.I. 210052743-7

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

El Tribunal del trabajo de titulación certifica que: El trabajo de titulación: Tipo: Trabajo Experimental, **COMPROBACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LAS PASTILLAS DE FRENO TIPO CERÁMICAS Y ELABORACIÓN DE LAS PROBETAS DE ENSAYO PARA VERIFICAR EL COMPORTAMIENTO DE LOS MATERIALES**, realizado por los señores: **EDWIN PAUL YUNGA TOAQUIZA, ROBINSON STALIN OCAMPO VISUMA** ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del trabajo de titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

FIRMA

FECHA

Ing. José Francisco Pérez Fiallos

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

2021-09-13

Ing. Eder Lenin Cruz Siguenza

DIRECTOR DEL TRABAJO

DE TITULACION

2021-09-13

Ing. Edison Patricio Abarca Pérez

MIEMBRO DE TRIBUNAL

2021-09-13

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a DIOS, por guiarme hasta llegar a este momento importante de mi vida, a mis padres Carlos Ocampo y Judith Visuma por ser un pilar importante en mi vida y brindarme siempre su apoyo incondicional durante mi vida estudiantil y hacer posible este sueño, a mis hermanos quienes siempre estuvieron junto a mi brindándome su apoyo, asumiendo muchas veces el papel de madre o padre. A mi esposa Marcela Alvarado por compartir momentos significativos conmigo y ser ese apoyo incondicional en todo momento.

Robinson Ocampo

El presente trabajo de titulación va dedicado a Dios por guiarme en todo momento, a mi madre María Transito Toaquiza con mucho amor, que con sus consejos, regaños y enseñanzas me dio palabras de aliento para continuar y no desistir nunca en mis sueños, a mi padre Ángel Vicente Yunga que con su esfuerzo, dedicación y sacrificio me dio todo sin pedir nada a cambio, este logro no hubiera sido posible sin los dos pilares fundamentales que son mis padres ya que cada uno de ellos aportó con su granito de arena. A mis hermanos Alex y Patricio que con sus alegrías y tristezas hicieron de mi vida universitaria más llevadera, a mi hermana Heidy que me enseñó que la distancia es solo un número y que el amor y respeto entre hermanos siempre permanecerá constante. A Hilda quien me enseñó que en el camino encuentras personas que iluminan tu vida, que con su apoyo alcanzas de mejor manera tus metas, a través de sus consejos, de su amor, y paciencia me ayudó a concluir esta meta. A mis tíos, primos y amigos que me han brindado su apoyo incondicional y han estado aquí en las buenas y malas.

Paul Yunga

AGRADECIMIENTO

Primero le agradezco a Dios por haberme iluminado y brindado fortaleza para seguir adelante en mis estudios a pesar de las adversidades, y por poner en el camino a todas las personas que he conocido y han formado parte de mi vida en esta etapa de estudios universitarios.

Un agradecimiento profundo a mis padres quienes me han formado como persona y me han dado su ejemplo de trabajo y perseverancia; a mis hermanos quienes han compartido conmigo momentos buenos y malos.

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, noble institución que me abrió las puertas y me dio una oportunidad para alcanzar uno de mis sueños, de igual forma extiendo mi agradecimiento a la magna Escuela de Ingeniería Automotriz, que dentro de sus aulas juntamente con sus docentes me han impartido su conocimiento y sabiduría, motivándome a desarrollarme académica y profesionalmente.

Agradezco a mi director de tesis Ing. Eder Cruz quien con su experiencia y conocimiento me orientó en mi investigación, a mis amigos con quienes formé una familia lejos de mi casa y fueron mi soporte, apoyo y refugio en esos momentos buenos y malos que viví en mi etapa universitaria. A todos ellos se los agradezco desde el fondo de mi alma.

Robinson Ocampo

Agradezco a DIOS por darme la oportunidad de terminar esta etapa en mi vida y por brindarme fuerza y sabiduría para superar todos los obstáculos que se me han presentado. A mi familia que por más complicadas que se veían las cosas nunca me dejaron solo. A mis amigos que me brindaron su amistad y me ayudaron en todo lo posible. A todos los docentes que formaron parte de esta larga travesía, quienes compartieron sus experiencias y conocimientos al momento de dictar sus clases. De manera especial a mi tutor Ing. Eder Cruz por brindarme su apoyo y confianza para la realización de este trabajo de titulación, por ayudarme con las correcciones necesarias. Gracias a todos, por tanto, no puedo responder otra cosa que gracias y mil gracias.

Paul Yunga

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xiv
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xv
RESUMEN.....	xvi
SUMMARY	xvii
INTRODUCCIÓN	1

CAPITULO I

1 MARCO TEÓRICO.....	2
1.1 Antecedentes.....	2
1.2 Planteamiento del Problema.....	3
1.2.1 <i>Formulación del problema de investigación.</i>	3
1.2.2 <i>Delimitación del problema.</i>	3
1.3 Justificación.....	4
1.3.1 <i>Justificación Técnica.</i>	4
1.3.2 <i>Justificación Metodológica.</i>	4
1.4 Objetivos.....	4
1.4.1 <i>Objetivo General.</i>	4
1.4.2 <i>Objetivos Específicos.</i>	4
1.5 Sistema de frenos.....	5
1.5.1 <i>Temperatura del sistema de frenos.</i>	5
1.6 Tipos de Frenos.....	6
1.6.1 <i>Frenos de disco con caliper rígido.</i>	7

1.6.2	<i>Freno de disco con caliper flotante.</i>	7
1.6.3	<i>Frenos de Tambor.</i>	8
1.7	<i>Disco de freno.</i>	9
1.8	<i>Pastillas de freno.</i>	9
1.8.1	<i>Composición de las pastillas de freno.</i>	10
1.8.2	<i>Tipos de materiales de fricción.</i>	11
1.8.3	<i>Características de las pastillas de freno.</i>	11
1.8.4	<i>Tipos de pastillas de freno.</i>	12
1.8.4.1	<i>Pastillas de freno orgánicas.</i>	12
1.8.4.2	<i>Pastillas de freno metálicas.</i>	12
1.8.4.3	<i>Pastillas de freno semi metálicas.</i>	13
1.9	<i>Pastillas de freno cerámicas.</i>	13
1.9.1	<i>Análisis elemental o EDS de la pastilla de freno tipo cerámica comercial utilizada.</i> 14	
1.9.1.1	<i>Detección de oligoelementos.</i>	15
1.9.2	<i>Materiales que conforman las pastillas de freno tipo cerámicas originales.</i>	15
1.9.3	<i>Composición de las pastillas de freno tipo cerámicas.</i>	16
1.9.4	<i>Características de las pastillas de freno cerámicas.</i>	17
1.9.5	<i>Materiales que conforman las probetas tipo cerámicas elaboradas.</i>	18
1.9.6	<i>Composición de las pastillas de freno elaborada.</i>	20
1.9.7	<i>Ventajas y limitaciones de las pastillas de freno tipo cerámicas</i>	20
1.10	<i>Tribología.</i>	21
1.10.1	<i>Fricción.</i>	21
1.10.2	<i>Desgaste.</i>	21
1.10.2.1	<i>Tipos de desgaste.</i>	21
	<i>Desgaste por abrasión.</i>	21
1.10.2.2	<i>Desgaste por fatiga superficial.</i>	22
1.10.2.3	<i>Desgaste por corrosión.</i>	23
1.10.2.4	<i>Desgaste por adhesión.</i>	23

1.11	Normas ASTM y Métodos de prueba para ensayos de fricción y desgaste.....	24
1.11.1	<i>Ensayo de péndulo de Charpy</i>	24
1.11.2	<i>Desgaste por abrasión de arena seca - Norma ASTM G 65 04</i>	25
1.11.3	<i>Ensayo Pin on Disk - ASTM G99</i>	27
1.11.4	<i>Ensayo de Dureza Brinell</i>	28

CAPITULO II

2	Marco Metodológico.	31
2.1	Hipótesis.....	31
2.1.1	<i>Prueba de la hipótesis</i>	31
2.1.2	<i>Procedimiento para comprobar una hipótesis</i>	31
2.1.3	<i>Investigación experimental</i>	31
2.2	Materiales y métodos.	32
2.2.1	<i>Métodos de desgaste por fricción y abrasión</i>	32
2.2.2	<i>Materiales y equipos</i>	33
2.3	Diseño estadístico	35
2.3.1	<i>Paso 1. Establecimiento de la hipótesis formulada</i>	36
2.3.2	<i>Paso 2. Selección del nivel de significancia (α)</i>	36
2.3.3	<i>Paso 3: Análisis estadístico de la prueba</i>	36
2.3.4	<i>Paso 4: Regla de decisión</i>	37
2.3.5	<i>Paso 5: Toma de la decisión</i>	38
2.4	Procedimiento.....	38
2.4.1	<i>Elaboración de las probetas</i>	38
2.4.2	<i>Cálculo del porcentaje de masa de los elementos de la probeta de pastilla de freno elaborada</i>	38
2.4.3	<i>Procedimiento de fabricación de la probeta elaborada</i>	41
2.4.4	<i>Elaboración de las probetas originales</i>	45
2.4.5	<i>Identificación de las probetas originales y fabricadas</i>	47

CAPITULO III

3	MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.	48
---	--	----

Introducción.	48
3.1 Preparación de las probetas.	48
3.1.1 <i>Probetas para el ensayo de Péndulo de Charpy.</i>	49
3.1.2 <i>Probetas para el ensayo de desgaste por abrasión.</i>	49
3.1.3 <i>Probetas para el ensayo Pin on Disk</i>	50
3.2 Ensayos Tribológicos realizados.	51
3.2.1 <i>Ensayo de Péndulo de Charpy.</i>	51
3.2.2 <i>Ensayo de Desgaste por abrasión de arena seca.</i>	56
3.2.3 <i>Ensayo de Dureza Brinell.</i>	62
3.2.4 <i>Ensayo Pin on Disk</i>	64
3.3 ANÁLISIS COMPARATIVO DE RESULTADOS.	67
3.4 Análisis estadístico del ensayo de Impacto Charpy.	68
3.4.1 <i>Igualdad de varianzas.</i>	69
3.4.2 <i>Comparación de la distribución t.</i>	70
3.5 Ensayo de Dureza Brinell.	71
3.5.1 <i>Igualdad de Varianzas.</i>	73
3.5.2 <i>Comparación de la distribución t del grupo de dureza.</i>	73
3.6 Ensayo de desgaste por abrasión con arena seca.	74
3.6.1 <i>Igualdad de Varianzas.</i>	76
3.6.2 <i>Comparación de la distribución t del grupo de desgaste.</i>	77
3.7 Ensayo Pin on Disk.	77
3.7.1 <i>Igualdad de Varianzas</i>	79
3.7.2 <i>Comparación de la distribución t del grupo de desgaste</i>	79
CONCLUSIONES.	81
RECOMENDACIONES.	82
GLOSARIO	
BIBLIOGRAFIA	
ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1: Características de las pastillas de freno cerámicas.	16
Tabla 2-1: Componentes químicos de las pastillas cerámicas	18
Tabla 3-1: Ventajas y limitaciones de las pastillas cerámicas	20
Tabla 4-1: Parámetros de transferencia de calor	6
Tabla 5-1: Valor de la constante K	29
Tabla 1-3: Codificación de probetas.	33
Tabla 4-2: Porcentaje de los materiales para la probeta elaborada	40
Tabla 3-2: Codificación de las probetas.	47
Tabla 5-3: Energía absorbida por las probetas originales en el ensayo de péndulo de Charpy.	54
Tabla 6-3: Energía absorbida por las probetas elaboradas en el ensayo de péndulo de Charpy.	55
Tabla 7-3: Datos obtenidos en las probetas originales en el ensayo de desgaste por arena seca.	59
Tabla 8-3: Volumen promedio perdido por probeta	60
Tabla 9-3: Datos obtenidos en las probetas elaboradas en el ensayo de desgaste por arena seca	61
Tabla 10-3: Volumen promedio perdido por probeta	61
Tabla 11-3: Datos obtenidos en las probetas originales en el ensayo de dureza Brinell.	63
Tabla 12-3: Datos obtenidos en las probetas elaboradas en el ensayo de dureza Brinell.	63
Tabla 13-3: Datos obtenidos en las probetas originales en el ensayo Pin on Disk.	64
Tabla 14-3: Coeficiente de fricción máquina pin on disk.	64
Tabla 15-3: Datos obtenidos en las probetas elaboradas en el ensayo Pin on Disk.	65
Tabla 16-3: Coeficiente de fricción.	66
Tabla 17-3: Recolección de datos resultantes.	67
Tabla 18-3: Valor p de cada variable del grupo de ensayos Charpy.	69
Tabla 19-3: Valor p de las pruebas F y de Bonett del grupo de ensayos Charpy.	69
Tabla 20-3: Calculo de la distribución t de los ensayos de Charpy.	70
Tabla 21-3: Valor p de cada variable del grupo de ensayos de dureza Brinell de PO Y PE.	72
Tabla 22-3: Valor p de las pruebas F y de Bonett del grupo de ensayos de dureza Brinell entre PO Y PE.	73
Tabla 23-3: Calculo de la distribución t de los ensayos de dureza.	73
Tabla 24-3: Valor p de cada variable del grupo de ensayos de desgaste de PO Y PE.	75
Tabla 25-3: Valor p de las pruebas F y de Bonett del grupo de ensayos de desgaste entre PO Y PE.	76
Tabla 26-3: Calculo de la distribución t de los ensayos de desgaste.	77

Tabla 27-3: Valor p de cada variable del grupo de ensayos Pin on Disk de PO Y PE.	78
Tabla 28-3: Valor p de las pruebas F y de Bonett del grupo de ensayos de Pin on Disk entre PO Y PE	79
Tabla 29-3: Cálculo de la distribución t de los ensayos Pin on Disk	79

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1: Sistema de frenos	5
Figura 2-1: Componentes del freno de montaje rígido.	7
Figura 3-1: Componentes del freno con caliper flotante	8
Figura 4-1: Partes del freno de tambor	8
Figura 5-1: Disco de freno ventilado	9
Figura 6-1: Pastillas de freno del automóvil	10
Figura 7-1: Pastilla de freno orgánica.....	12
Figura 8-1: Pastilla de freno metálica	12
Figura 9-1: Pastillas de freno semi metálicas	13
Figura 10-1 Pastilla de freno cerámica	14
Figura 11-1: Tipos de pastillas de freno cambiar.....	18
Figura 12-1: Transferencia de calor.....	6
Figura 13-1: Desgaste por abrasión entre dos y tres cuerpos.....	21
Figura 14-1: Desgaste por fatiga.....	22
Figura 15-1: Desgaste por corrosión.....	23
Figura 16-1: Desgaste por adhesión.....	24
Figura 17-1 Máquina Péndulo de Charpy	25
Figura 18-1: Máquina de Desgaste por Arena Seca.....	26
Figura 19-1: Máquina de Ensayo Pin on Disk.....	27
Figura 20-1: Máquina para ensayo Brinell	28
Figura 1-2: Regiones e aceptación y rechazo en una prueba de dos colas.....	37
Figura 1-3: Molde utilizado para la elaboración de las probetas	48
Figura 2-3: Molde para probetas de ensayo de Charpy	49
Figura 3-3: Molde de probetas para ensayo de desgaste por arena seca.....	50
Figura 4-3: Molde para probetas de ensayo pin on disk	50
Figura 5-3: Homogenización de los componentes.....	42
Figura 6-3: Llenado de probetas con la mezcla homogenizada	42
Figura 7-3: Aplicación de la carga al molde de probetas.....	43
Figura 8-3: Control de temperatura de la cámara	44
Figura 9-3: Aplicación de carga con el molde caliente.....	44
Figura 10-3: Extracción de las probetas del molde.....	45
Figura 11-3: Máquina pendulo de Charpy.....	51
Figura 12-3: Probetas elaboradas para el ensayo Charpy	52
Figura 13-3: Aplicación de la energía para el martillo	52

Figura 14-3: Posicionamiento inicial del martillo	53
Figura 15-3: Colocación de la probeta a ensayar	53
Figura 16-3: Verificación de la lectura de energía absorbida	54
Figura 17-3: Probetas resultantes después del impacto	54
Figura 18-3: Máquina utilizada para el ensayo de desgaste por abrasión de arena seca	56
Figura 19-3: Probetas originales y elaboradas para el ensayo	56
Figura 20-3: Verificación del caudal de la arena sílice.....	57
Figura 21-3: Colocación de la probeta previo a realizar el ensayo	57
Figura 22-3: Colocación de la pesa en la máquina	58
Figura 23-3: Fricción producida entre el disco y probeta	58
Figura 24-3: Probeta desgastada después de la fricción	59
Figura 25-3: Durómetro	62
Figura 26-3: Normalidad de las variables del grupo de ensayos Charpy	68
Figura 27-3: Normalidad de las variables del grupo de ensayos Charpy.....	69
Figura 28-3: Normalidad de las variables del grupo de ensayos de Dureza Brinell de PO Y PE	72
Figura 29-3: Análisis de igualdad de varianzas del grupo de dureza Brinell entre PO Y PE.....	73
Figura 30-3: Distribución t de dos colas del grupo de ensayos de dureza	74
Figura 31-3: Normalidad de las variables del grupo de ensayos de desgaste PO Y PE	75
Figura 32-3: Análisis de igualdad de varianzas del grupo de ensayos de desgaste entre PO Y PE.....	76
Figura 33-3: Distribución t de dos colas del grupo de ensayos de desgaste	77
Figura 34-3: Normalidad de las variables del grupo de ensayos Pin on Disk PO Y PE.....	78
Figura 35-3: Análisis de igualdad de varianzas del grupo de ensayos de desgaste entre PO Y PE.	79
Figura 36-3: Distribución t de dos colas del grupo de ensayos de desgaste	80

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-2: Composición del material de fricción.....	10
Gráfico 1-3: Línea de tiempo de fabricación de las probetas.....	45
Gráfico 2-3: Comparación de energía absorbida por los tipos de probetas	68
Gráfico 3-3: Distribución t de dos colas del grupo de ensayos Charpy	70
Gráfico 4-3: Curvas comparativas del ensayo Brinell	71
Gráfico 5-3: Curvas comparativa ensayo de arena seca.....	75
Gráfico 6-3: Curvas comparativas ensayo Pin on disk	78

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A: Ensayo de Dureza Brinell.

Anexo B: Ensayo de Desgaste Pin on Disk.

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo de titulación fue elaborar y comparar las propiedades mecánicas mediante un análisis tribológico entre las probetas de pastillas de freno cerámico elaboradas y las probetas cerámicas Raybestos, basados en la norma técnica de la industria PFC Brakes que menciona la cantidad de materiales necesarios para elaborar este tipo de probeta. Mediante la aplicación de ensayos como la norma ASTM E-23 Péndulo de Charpy, norma ASTM E-10 Ensayo de dureza Brinell, norma ASTM G-65 ensayo de desgaste por arena seca y ASTM G-99 ensayo Pin on disk; permitirán determinar las respectivas propiedades de cada probeta. Para lo cual se elaboró cuatro probetas para cada tipo de ensayo con diferentes características geométricas y de acuerdo a lo establecido en cada norma, las consideraciones establecidas para los ensayos tribológicos, destructivos y no destructivos fueron: procedimiento establecido, carga requerida, tiempo, velocidad y temperatura como establece cada norma. Para comprender los resultados obtenidos expresamos estos valores en tablas que permiten la creación de un modelo estadístico T-Student, el cual muestra la existencia o no de variación de las propiedades de las probetas de pastillas de freno elaboradas y las probetas de las pastillas de freno Raybestos, los gráficos comparativos entre estos dos tipos de probetas permitirán proyectar el desgaste, coeficiente de fricción y dureza que presentarán en cada tipo de probeta. Se concluye que las probetas elaboradas en el ensayo del coeficiente de fricción ASTM G-99, se asemejan a las características presentadas por las probetas Raybestos, por lo cual se recomienda realizar una corrección en las cantidades de los materiales insolubles utilizados en la elaboración de las probetas cerámicas para utilizar otros materiales o porcentajes insolubles que permitan obtener mejores resultados y por ende características superiores a las presentadas en las probetas cerámicas elaboradas.

Palabras clave: <PASTILLAS DE FRENO CERÁMICO> <ANÁLISIS TRIBOLÓGICO>, <ELABORACIÓN DE PROBETAS> <MATERIALES CERÁMICOS>, <ANÁLISIS ESTADÍSTICO> <COMPORTAMIENTO DE LOS MATERIALES>.



Firmado electrónicamente
por:
**HOLGER
GERMANRAMOS
UVIDIA**

2050-DBRA-UPT-2021

2021-11-08

SUMMARY

This degree work aimed to elaborate and compare the mechanical properties using a tribological analysis between the manufactured ceramic brake pad specimens and the Raybestos ceramic specimens, based on the industry technical standard PFC Brakes that Mention the number of materials needed to create this type of test tube. Through the application of tests such as ASTM E- 23 Charpy Pendulum, ASTM E-10 standard test Method for Brinell hardness, ASTM G-65 dry sand wear test, and ASTM G-99 Pin on disk test. They allow determining the respective properties of each specimen. For which was elaborated four specimens for each type of test with different geometric characteristics and according to the provisions of each standard, the considerations established for the tests tribological, destructive, and non-destructive were: established procedure, required load, time, speed, and temperature as established by each standard. To understand the obtained results; these values are presented in tables allowing the creation of a statistical model T-Student. Which shows the existence or not of variation of the properties of the test tubes of elaborated brake pads and Raybestos brake pad test specimens. The graphics comparisons between these two types of specimens allow projecting the wear, friction coefficient, and hardness present in each type of test piece. It is concluded that the specimens made in the test of the coefficient of friction ASTM G-99, resembling the characteristics presented by the Raybestos test tubes. It is recommended to correct the quantities of the insoluble materials used in the elaboration of the ceramic specimens to use other insoluble materials or percentages that allow better results and therefore superior characteristics to those presented in the ceramic specimens made.

Keywords: <CERAMIC BRAKE PADS> <TRIBOLOGICAL ANALYSIS> <TEST PREPARATION> <CERAMIC MATERIALS> <STATISTICAL ANALYSIS> <MATERIALS BEHAVIOR>.



Firmado electrónicamente por:

**PATRICIA
PILAR MOYOTA
AMAGUAYA**

INTRODUCCIÓN

En la actualidad la contaminación creada por los vehículos es una problemática sin solución a nivel mundial, y en el caso de las pastillas de freno también forman parte de esta contaminación ya que sus partículas son liberadas en el ambiente y otras son almacenadas en el sistema de freno convirtiéndose en un peligro para el ambiente como para las personas encargadas del mantenimiento y los transeúntes.

El consumo de pastillas de freno es considerado uno de los repuestos más consumidos en la industria automotriz debido a su desgaste requieren de un cambio cada cierto periodo de tiempo es por eso, que existe una gran variedad de pastillas de freno con diferentes procedencias de producción, dentro de la industria automotriz las pastillas de freno son construidas esencialmente de carbono (kevlar, aluminio, virutas, cobre, acero, latón o grafito) sustituyendo de esta manera el principal componente que se utilizaba al inicio del desarrollo de pastillas de freno como es el asbesto (componente altamente cancerígeno).

En el Ecuador el 3% de los accidentes de tránsito han sido ocasionadas por pastillas de freno debido a su cristalización, rotura de disco o desprendimiento de segmentos por lo que el objetivo de las empresas automotrices es vender seguridad ofertándoles productos de mejor calidad a sus consumidores, es por esta razón que las pastillas de componentes cerámicos son considerados como los mejores materiales de fricción siendo usadas por su optimización y desarrollo en competencias automovilísticas por su desempeño y utilidad.

Por esta razón nuestro estudio está enfocado en la elaboración y comparación de probetas de pastillas de freno tipo cerámico con componentes cerámicos que disminuyan el impacto ambiental, los problemas de salud, ruido y sobre todo la capacidad de detener el vehículo que no han logrado solucionar el resto de las pastillas de freno comercializadas en el mercado hechas a base de asbesto, orgánicas y semimetálicas que se encuentran en el mercado actual de la ciudad de Riobamba.

Al construir las probetas de ensayo utilizando materiales cerámicos se puede determinar y observar el comportamiento de los materiales durante su funcionamiento, al someter a las probetas a varias pruebas y ensayos mecánicos para determinar su calidad. Las propiedades de todos los materiales utilizados se evalúan en los ensayos, cuyos resultados aportan un índice del comportamiento del material, el mismo que es interpretado mediante parámetros, puesto que ni la forma, tampoco las dimensiones de las probetas mucho menos las condiciones de trabajo y el estado tensional, son las mismas en una situación real que en la simulada por el ensayo.

CAPITULO I

1 MARCO TEÓRICO.

1.1 Antecedentes.

La fabricación de pastillas de freno en el Ecuador son escasas y algunas marcas no cumplen con los estándares de calidad establecidas en normas internacionales de fabricación tomando en cuenta que son esenciales dentro del sistema de freno de los automóviles, siendo elementos de continuo desgaste que requieren de un mantenimiento periódico para evitar averías y contar con garantías máximas a nivel de seguridad en el vehículo, el uso continuo de estos elementos ha hecho que las industrias automotrices busquen componentes alternativos que no afecten al vehículo y al medio ambiente. (Las pastillas de freno, un elemento clave en la seguridad del vehículo, 2016)

Entre las principales características de las pastillas de freno tenemos:

- Presentan un coeficiente de fricción adecuado y estable a cualquier rango de temperatura y presión.
- Mantienen un equilibrio entre abrasión y resistencia al desgaste.
- Tienen una cierta compresibilidad, tanto en frío como en caliente que hace que el material absorba vibraciones e irregularidades de la otra superficie con la que entra en contacto.
- Tienen resistencia al choque y al desgaste. (Velasguí, 2015 pág. 30)

Los frenos de disco hacen uso de pastillas que frenan nuestro vehículo y pueden ser de diferentes compuestos, estas pastillas van montadas en otro componente del sistema de frenado denominado pinzas, las cuales presionan las pastillas contra el disco mediante sus pistones cuando pisamos el pedal de freno para detener el vehículo, estas pastillas con el paso de los kilómetros irán perdiendo espesor, por lo que tarde o temprano nos llegará el momento de acudir a un taller para sustituirlas. (Lopez, 2019).

Las pastillas de freno con conformantes cerámicos controlan la tendencia del freno a debilitarse a temperaturas más altas y proporcionan una recuperación más rápida, luego de detener el vehículo, además, produce menos polvo y desgaste, tanto de la pastilla como del disco. Las pastillas con material de fricción cerámica ofrecen un frenado más tranquilo, debido a que, este material ayuda a reducir el ruido generando una frecuencia no audible para los seres humanos. (Lopez, 2019)

1.2 Planteamiento del Problema.

La industria automotriz mundial está ligada a estándares internacionales de la gestión de calidad para la industria, que define una serie de requisitos particulares para producción de piezas y procesos de elaboración de materiales, a utilizarse para la producción de piezas de serie o de recambio y subconjuntos de ensamblado que deben realizarse a prueba de error evitando fabricar productos no conformes.

En Ecuador la calidad de la industria automotriz está regida a las normas internacionales gracias al crecimiento de la demanda en el parque automotor ha aumentado considerablemente la venta de repuestos las pastillas de frenos con componentes de cerámica que llegan a nuestro país cumplen las normas de fabricación y en algunos casos no cumplen con todos los parámetros de calidad.

En el campo automotor las pastillas de frenos con materiales cerámicos han sido reconocidas como una combinación deseable por sus características y bondades que debido a su costo han hecho que no estén al alcance de todos los consumidores, nuestro objetivo es elaborar una probeta de tipo cerámico con materiales cerámicos disponibles en nuestro medio que cumplan los estándares de calidad y expenderlas en el mercado a costos accesibles.

1.2.1 Formulación del problema de investigación.

En el mercado automotriz el consumo de pastillas de tipo cerámico es restringido debido a su elevado costo, nuestro objetivo es presentar una alternativa con materiales cerámicos, con similares características de calidad a costos accesibles.

1.2.2 Delimitación del problema.

Objeto de estudio: Elaboración y comparación de las probetas de pastillas de freno tipo cerámicas.

Campo de Acción: Ensayos de desgaste por abrasión.

Limite espacial: Normas ASTM.

Delimitación temporal: Normas ISO.

1.3 Justificación.

1.3.1 Justificación Técnica.

Esta investigación se realiza porque existe la necesidad de conocer la calidad de las pastillas de freno tipo cerámicas elaboradas basadas en la norma técnica de la industria PFC Brakes, y luego someterlas a normas internacionales de fabricación y comparar los resultados obtenidos de las pastillas de freno planteadas por los investigadores con relación a las probetas de pastillas de freno elaboradas a partir de una pastilla de freno comercial,

1.3.2 Justificación Metodológica.

La elaboración de las probetas y su posterior comparación de resultados se obtiene mediante ensayos de impacto y ensayos no destructivos basados en normas que permiten el análisis de sus propiedades mecánicas, el desgaste producido en la implementación de dicha composición de pastilla de freno y la confiabilidad para que estos datos puedan ser utilizados en otros trabajos experimentales.

1.4 Objetivos.

1.4.1 Objetivo General.

Analizar el comportamiento de las propiedades mecánicas en las probetas de pastillas de freno tipo cerámicas comercializadas en el mercado nacional y probetas de pastillas de freno tipo cerámicas elaboradas, mediante ensayos tribológicos.

1.4.2 Objetivos Específicos.

- Fabricar probetas de pastillas de freno tipo cerámicas, mediante la aplicación de una ficha técnica de fabricación PFC Brakes.
- Comparar las características mecánicas de desgaste, coeficiente de fricción y dureza que presentan cada probeta tipo cerámica elaborada y original.
- Realizar un análisis estadístico de acuerdo con las semejanzas y diferencias existentes en los dos tipos de probetas el cual nos permita rechazar o aceptar la hipótesis que hemos impuesto.

1.5 Sistema de frenos.

La principal finalidad del sistema de frenos de un automóvil es conseguir detener o reducir la marcha del vehículo mediante la acción del conductor, por ende, la energía cinética del vehículo debe ser absorbida mediante el rozamiento entre los elementos que conforman el sistema de frenado, transformándola en calor. (CEAC, 2003)

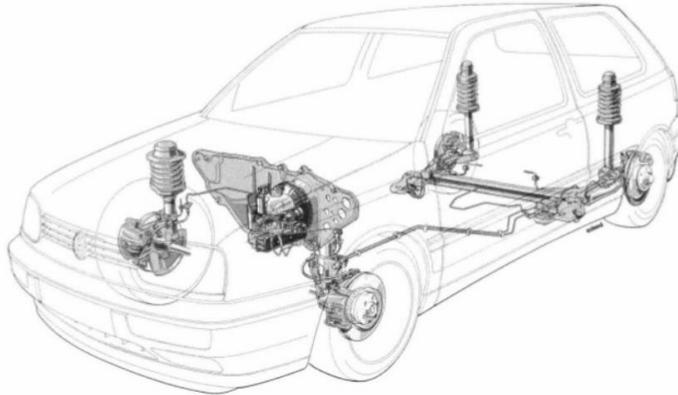


Figura 1-1: Sistema de frenos.

Fuente: (CULTURAL, 2000).

Por tal motivo los vehículos se equipan con mecanismos, que permiten realizar esta acción con seguridad, tiempo, distancias mínimas y conservación de la trayectoria mientras se realiza la frenada, dicha frenada debe estar en relación con el esfuerzo realizado por el conductor, y las condiciones de carga. Estos mecanismos de frenado se distinguen entre frenos de disco y frenos de tambor.

La energía de frenado producida por el conductor al aplicar esfuerzo sobre el pedal es transmitida por el sistema de frenos actuando en estos elementos de rozamiento como fuerza tensora, comprimiendo los forros de freno contra el tambor o disco de freno. (CULTURAL, 2000)

1.5.1 Temperatura del sistema de frenos.

Los mecanismos de transmisión de temperatura se muestran como transferencia de calor o termodinámica, la transmisión de calor inicia en un elemento de elevada temperatura y disminuye cuando entra en contacto con otro elemento de baja temperatura igualando el nivel de calor entre los dos elementos. (GARCÍA LEÓN, 2016)



Figura 2-1: Transferencia de calor.

Fuente: (GARCÍA LEÓN, 2016 págs. 20-25)

Para que exista transferencia de calor se establecen tres formas: conducción, convección y radiación. A continuación, se describen cada una.

Tabla 1-1: Parámetros de transferencia de calor.

PARÁMETROS	DESCRIPCIÓN
Conducción	Se transmite la energía entre las partículas de un sólido y un líquido o gas que se manifiesten menos potentes siempre que se encuentren juntas.
Convección	Transmisión de energía entre un sólido y un líquido o gas que se encuentren contiguos y en constante movimiento. La transferencia se realiza más rápido cuando el fluido también se mueve más rápido.
Radiación	Debido a los cambios eléctricos que sufren los átomos y moléculas se crea la radiación en forma de ondas electromagnéticas, la diferencia de este tipo de transferencia con las anteriores es que se da a la velocidad de la luz y no requiere un elemento intermedio para la transmisión.

Fuente: (GARCÍA LEÓN, 2016)

Realizado por: Ocampo, R. & Yunga, E. 2020

En la actualidad en el montaje de frenos de disco se tiene dos familias: frenos de sistema rígido y frenos de sistema flotante. (CULTURAL, 2000)

1.6 Tipos de Frenos.

En la industria automotriz se conocen dos tipos de frenos con el tiempo han ido mejorando sus sistemas siendo cada vez más eficaces y eficientes a la hora del frenado.

1.6.1 Frenos de disco con caliper rígido.

En cada una de las dos secciones de la carcasa de un disco de pinza encontramos uno o dos émbolos a los cuales se aplica presión hidráulica al frenar, presionando en dichos lados las pastillas de freno contra el disco, al dejar de ejercer presión sobre el pedal de freno los émbolos se retraen en determinada medida. Siendo su aplicación en vehículos de turismo, carga pesada y rápidos por su alta resistencia y buena frenada. Presentando también sensibilidad a alta temperatura debido a los esfuerzos constantes y formación de vapor por el recalentamiento del líquido de frenos. (CULTURAL, 2000)

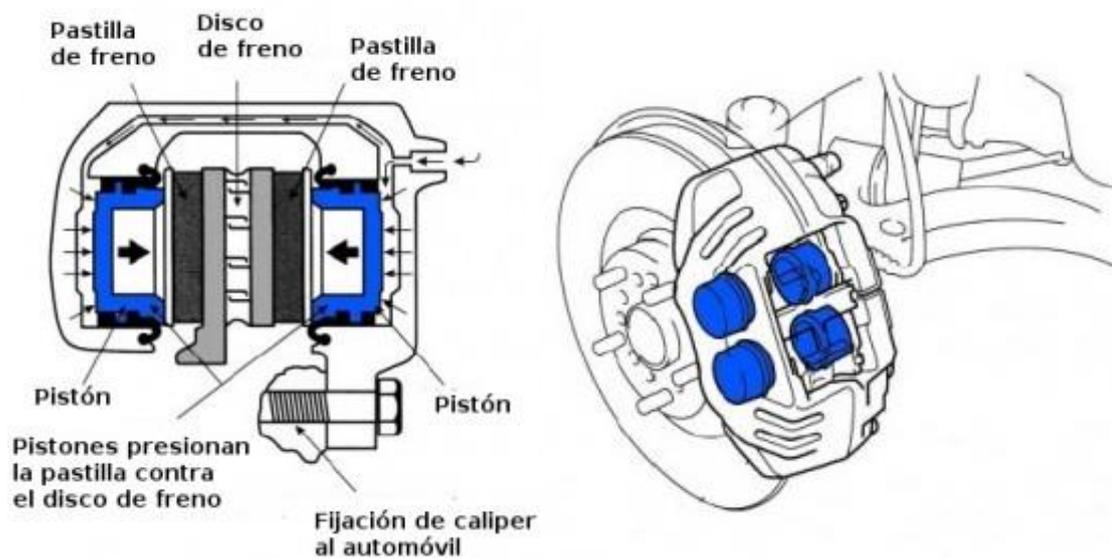


Figura 2-1: Componentes del freno de montaje rígido.

Fuente: (Ingemecánica, 2015).

Entre las ventajas podemos mencionar una mayor presión sobre el disco de freno, son de un peso reducido siendo construidos en aluminio o magnesio disipando mejor el calor.

1.6.2 Freno de disco con caliper flotante.

Tienen su implementación en la mayoría de los vehículos por su reducido costo de producción y simplificada construcción. El caliper cuenta con uno o dos émbolos en una sola cara del disco de freno los cuales al ejercer presión sobre el pedal de freno presionan a la pastilla de freno, al ser el caliper de montaje deslizante produce que la reacción ejercida por el émbolo sobre la pastilla empuje el caliper permitiendo que la otra pastilla de freno fija en el caliper presione también al disco de freno produciendo fricción entre los elementos para reducir la velocidad del vehículo. (CULTURAL, 2000)

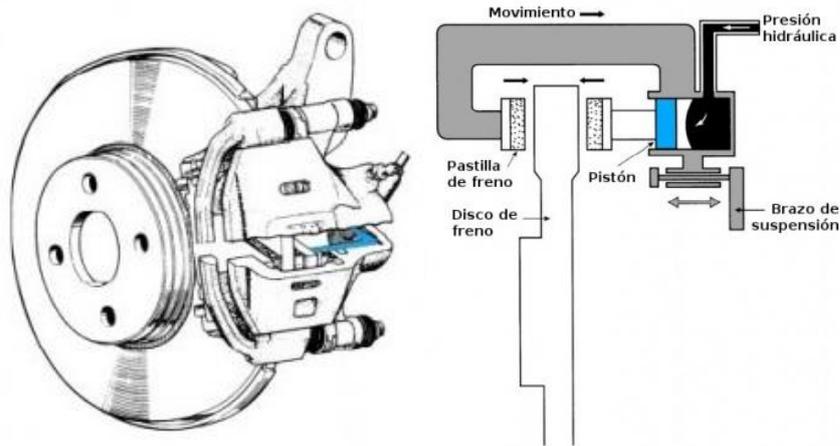


Figura 3-1: Componentes del freno con caliper flotante.

Fuente: (Ingemecánica, 2015).

1.6.3 Frenos de Tambor.

La misión de los frenos es separar las zapatas y poner en contacto las guarniciones con el tambor de freno, al estar en contacto las zapatas con el tambor de freno tienden a arrastrar por tal motivo la zapata primaria va a sujetarse sobre una articulación de modo que incremente el rozamiento y por ende la frenada, la zapata secundaria en cambio no va a ejercer la misma presión sobre el tambor. (CEAC, 2003)

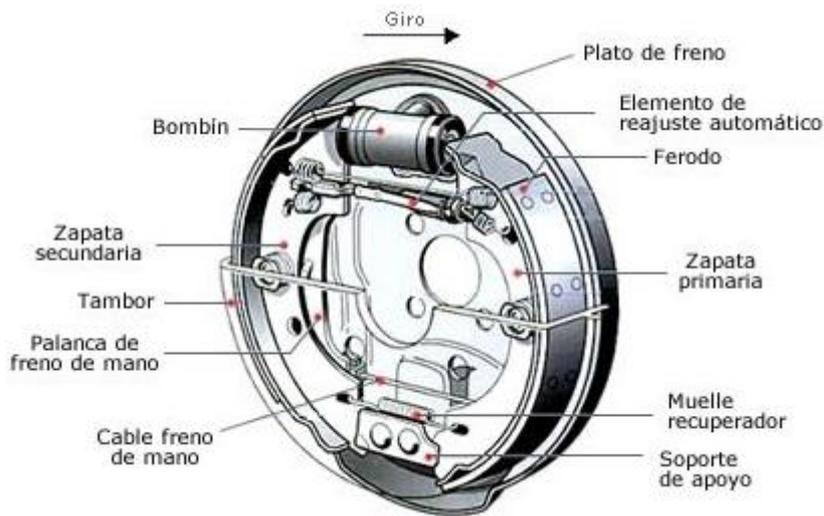


Figura 4-1: Partes del freno de tambor.

Fuente: (Autonoción, 2015).

Los problemas que presenta los frenos de tambor son: desgaste desigual entre las zapatas, incremento del recorrido para el sistema de mando, esfuerzo desproporcional, para evitar este tipo de problemas se destacan dos sistemas en la actualidad como son Lucas Girling y Bendix. (CULTURAL, 2000)

1.7 Disco de freno.

Los discos de freno son fabricados con fundición gris perlítica con grafito esferoidal y en otros casos con fundición aleada al cromo, siendo esta última fundición la que tiene mayor dureza y resistencia al calor, permitiendo alcanzar temperaturas cercanas a los 800 °C sin sufrir deformaciones. (CEAC, 2003)



Figura 5-1: Disco de freno ventilado

Fuente: (CEAC, 2003).

La temperatura que puede alcanzar el disco de freno es mayor cuando se acciona el freno a altas velocidades, por tal razón se emplean en los neumáticos delanteros de vehículos de altas prestaciones discos ventilados que tienen mayor capacidad de refrigeración. La característica principal de estos discos es que los compartimentos en la superficie de contacto permiten tomar el aire por el centro y expulsarlo por la periferia. (CEAC, 2003)

1.8 Pastillas de freno.

También llamadas placas de fricción, consiste en una placa de acero a la cual se adhiere mediante un pegamento adhesivo el forro de fricción, la forma de esta placa varía dependiendo del tipo de caliper y sistema de accionamiento. Los materiales que se emplean son similares al material de las zapatas, la dureza del producto terminado es mayor debido a que debe resistir severas condiciones de trabajo, por lo general el espesor del forro se encuentra entre 12 y 15 mm con una ranura central de 2mm, siéndola misma el indicar de desgaste de la pastilla de freno. (CEAC, 2003)



Figura 6-1: Pastillas de freno del automóvil

Fuente: (Goodyear, 2018).

El incremento de calor que se produce durante el frenado genera problemas, con la intención de formular nuevos materiales de fricción los cuales se caracterizan por la reducida conductividad térmica a diferencia de los materiales semi-metálicos. Fundamentalmente se intenta sustituir los metales pesados del material de fricción (trisulfuro de antimonio, disulfuro de molibdeno, fibras de cobre, fibras de silicio) por compuestos que no sean tóxicos con los seres humanos y medio ambiente, los cuales también no deben desintegrarse a altas temperaturas al momento de frenar, tampoco dañar las superficies del disco que mantenga características de fricción en un amplio rango de temperatura. (Tamayo, 2015)

1.8.1 Composición de las pastillas de freno.

Los principales componentes del forro de fricción son los siguientes.

- Aglomerados, los cuales aseguran la cohesión de todos los demás componentes.
- Fibras de refuerzo, constituidas de amianto, actualmente fibras sintéticas y aramidas.
- Cargas, por lo general de tipo metálica permite proporcionar resistencia al desgaste y un coeficiente elevado de fricción.



Gráfico 1-1: Composición del material de fricción.

Realizado por: Ocampo, R. & Yunga, E. 2021.

1.8.2 Tipos de materiales de fricción.

- **Fibras:** Elementos encargados de aglutinar y unir por sus múltiples ramificaciones el resto de los elementos, convirtiéndose en el "Armazón" de la pastilla de freno. Existen fibras sintéticas y minerales siendo las más utilizadas: fibra de vidrio y aramida.
- **Cargas Minerales:** Son las encargadas de otorgar consistencia mecánica a la pastilla de freno aportando resistencia a la abrasión, resistencia a la cortadura y resistencia a altas temperaturas, entre los materiales que se utilizan más a menudo son: barita, magnesita, talco, mica, fedespalto.
- **Componentes metálicos:** Se añade en forma de polvo o viruta, permite homogenizar el coeficiente de fricción como también la transferencia de calor desde la pastilla hacia el caliper entre los materiales más empleados tenemos: latón, cobre, bronce, titanio.
- **Modificadores de coeficiente o lubricantes:** Permiten variar el coeficiente de fricción dependiendo directamente del rango de temperatura de funcionamiento, los materiales más empleados en forma de polvo, tenemos: grafito, sulfuros, antracitas.
- **Materiales Orgánicos:** Son los materiales encargados de aglomerar el resto de los materiales al alcanzar una determinada temperatura fluyen y ligan el resto de los componentes hasta su polimerización. Las resinas utilizadas son: fenólicas termoendurecibles, cauchos, ceras, aceites.
- **Abrasivos:** Renuevan e incrementan el coeficiente de fricción principalmente limpian la superficie del disco de freno, formando la capa intermedia. (Luque, 2015)

1.8.3 Características de las pastillas de freno.

La aplicación del producto establece los requerimientos del material de fricción. Entre los requerimientos que se puede considerar, tenemos los siguientes:

- Coeficiente de fricción adecuado y estable sin importar el rango de presión y temperatura.
- Equilibrio entre la resistencia al desgaste y la abrasión.
- Cierta compresibilidad que permite que el material absorba vibraciones e irregularidades de la superficie del disco de freno y pastillas.
- Excelente resistencia al cizallamiento y choque. (Tamayo, 2015)

1.8.4 Tipos de pastillas de freno.

1.8.4.1 Pastillas de freno orgánicas.

Caracterizadas por tener fundamentalmente en su estructura materiales orgánicas e inorgánicas, las cuales se compactan con resinas, entre sus ventajas poseen una mejor modulación del frenado, mínimo desgaste en el disco de freno, una respuesta inicial a la frenada buena, bajo nivel de ruido, ayuda a la conservación del caliper con la reducida transferencia de calor. Un largo periodo de uso produce en la pastilla de freno un desgaste a mayor rapidez y con el incremento de temperatura se pierde la efectividad de la pastilla de freno llegando a producirse una cristalización. (Luque, 2015)



Figura 7-1: Pastilla de freno orgánica.

Fuente: (MotoTaller, 2015).

1.8.4.2 Pastillas de freno metálicas.

Este tipo de pastillas están compuestas enteramente por polvo metálicos como cobre, latón., bronce, hierro, su compactación se realiza mediante calor. Entre sus ventajas se puede mencionar: que poseen una larga duración debido a su composición, mantiene un coeficiente de fricción estable a elevadas temperaturas, soportando también condiciones extremas de uso. (Luque, 2015)



Figura 8-1: Pastilla de freno metálica.

Fuente: (Mountaikbike, 2019).

Entre sus desventajas tenemos el excesivo ruido que producen al frenar, se produce un mayor desgaste de los componentes de frenado debido a que no disipan el calor de manera eficiente, en temperaturas bajas de arranque la respuesta de frenado no es eficiente, tiende también a desprender una mayor cantidad de material al frenar. (Luque, 2015)

1.8.4.3 Pastillas de freno semi metálicas.

Su estructura constituye polvos metálicos como cobre, hierro, bronce. Para su homogenización se implementa resinas como aglutinante en porcentajes menores a relación con las pastillas orgánicas. Poseen un coeficiente de fricción estable y mayor dureza debido a la parte metálica de la patilla de freno, la resina ayuda a las frenadas en frío y la conservación del disco de freno. (Luque, 2015)



Figura 9-1: Pastillas de freno semi metálicas.

Fuente: (BOSCH, 2016).

Ventajas que podemos mencionar tenemos que poseen una vida útil mayor con relación a las pastillas de freno orgánicas, mantienen un índice de rozamiento estable a elevadas temperaturas, mejor rendimiento al frenar sin importar la condición climática. (Luque, 2015)

El elevado costo con relación a pastillas orgánicas representa una desventaja en este tipo de pastillas de freno, ya que producen un ruido elevado al frenar y tienen un rendimiento inicial bajo debido a que tardan en asentarse en bajas temperaturas con una mala transferencia de calor. (Luque, 2015)

1.9 Pastillas de freno cerámicas.

Las almohadillas están compuestas con materiales cerámicos, la cual es una composición aproximada de 15% de fibras de metal, aglutinantes y lubricantes. Tanto los materiales como lubricantes que posee este tipo de pastilla de freno contribuyen a la reducción de vibración y ruido tiene una mayor capacidad de transferencia de calor debido a las fibras que posee el metal y un reducido peso en relación con otro tipo de pastillas de freno. (Gachoki, 2011)



Figura 10-1: Pastilla de freno cerámica.

Fuente: (BOSCH, 2016)

1.9.1 *Análisis elemental o EDS de la pastilla de freno tipo cerámica comercial utilizada.*

El análisis elemental fue necesario para determinar de una manera concreta los elementos químicos que conforman una pastilla de freno tipo cerámica esta aplicación espectroscopia de rayos X de dispersión de energía o conocido como EDS el cual agrega información de composición microscópica electrónica ofreciendo una descripción morfológica y química de la muestra mientras es sometida a más tiempo, mayor es la presencia de rayos X y se obtiene mejores resultados.

- **Mapeo compositivo rápido**

Los sistemas de localización EDS de mayor eficacia consienten en realizar un análisis de composición rápido con una resolución inferior al nanómetro.

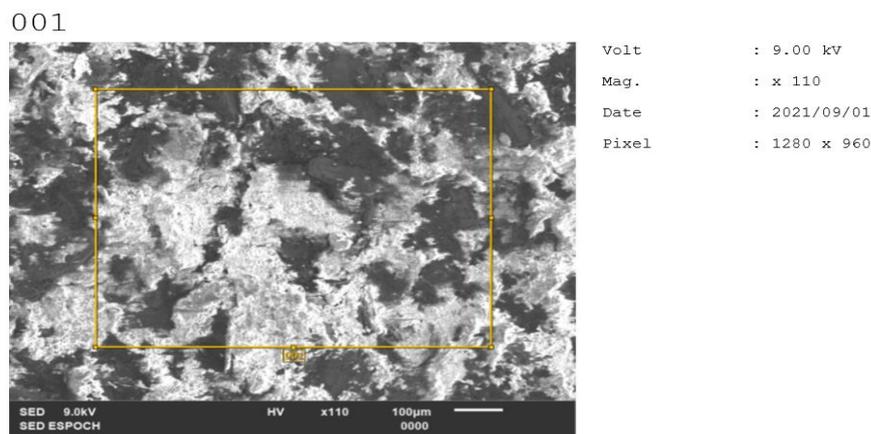


Figura 11-1: EDS de una pastilla de freno cerámica.

Fuente: Yunga T. Paul, Ocampo V. Robinson, 2021.

Mapeo de la composición química de un transistor con un tiempo total de 120 segundos adquisición de mapas de 1280 x 960 pixeles y una corriente de 9.00kv.

Formula	mass%	Atom%	Sigma	Net	K ratio	
Line	3756		0.0101108	K		
Al	0.98	1.29	0.02	2353	0.0068176	K
Si	2.29	2.89	0.03	5183	0.0171176	K
S	1.07	1.19	0.02	1882		
C		18.20	53.86	0.08	18260	
	0.0916327	K				
O	13.47	29.92	0.07	18057	0.0863159	K
Na	0.58	0.90	0.02	1291	0.0036324	K
Mg	1.57	2.29	0.02			
	0.0080905	K				
K	0.68	0.62	0.03	685	0.0052139	K
Ca	0.90	0.80	0.04	763	0.0070295	K
Fe	8.16	5.19	0.20	2855	0.0317721	L
Ba	4.02	1.04	0.12	1026	0.0205043	L
Total	51.91	100.00				

1.9.1.1 Detección de oligoelementos

El sistema de detección tiene una sensibilidad sustancialmente mejorada, que es fundamental para la detección de oligoelementos.

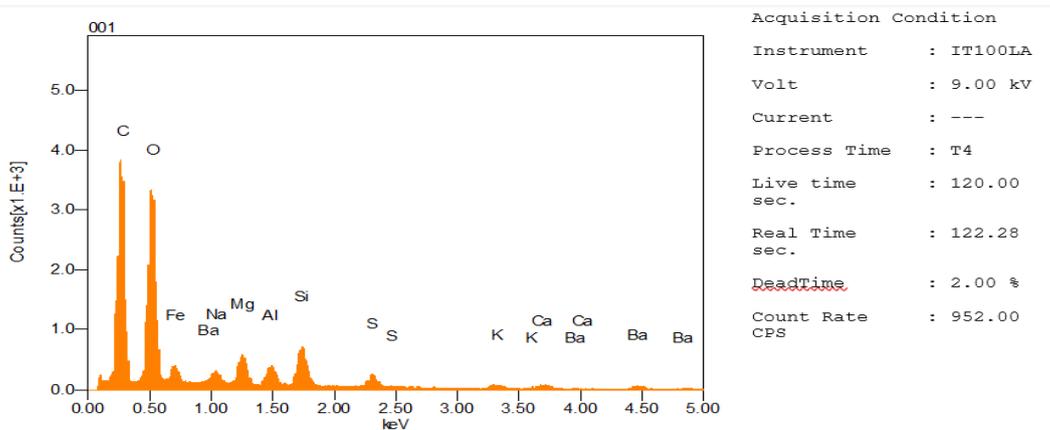


Figura 12-1: Detección de oligoelemento.

Realizado por: Yunga T. Paul, Ocampo V. Robinson, 2021.

El espectro completo se adquirió en 122.28 segundos, utilizando una corriente de haz de 9.00 kv en 4 tiempos mientras se escaneaba un área del tamaño de una micra para promediar la composición a través de la microestructura de la muestra.

1.9.2 Materiales que conforman las pastillas de freno tipo cerámicas originales.

Las pastillas de freno libre asbesto se componen principalmente por aglutinante, fibras metálicas contenidas las de cobre, polvos de metales, rellenos orgánicos e inorgánicos y lubricantes todos estos compuestos proporcionan en conjunto un eficiente coeficiente de fricción también aportan

resistencia y forman una película de transferencia que hace contacto con el agua de esta manera generar ruido al momento del frenado. (Hara, 2001)

Tabla 3-1: Composición de los materiales de las pastillas de freno tipo cerámicas.

COMPONENTES		Cantidades		Porcentajes
Componentes metálicos y aglutinantes:	Aluminio	0,98	1,29	6,48%
	Hierro	8,16	5,19	
Rellenos inorgánicos	Potasio	0,68	0,62	34,8%
	Bario	4,02	1,40	
	Calcio	0,90	0,80	
	Sodio	0,58	0,90	
	Azufre	1,07	1,19	
	Flúor	13,47	29,92	
Cargas minerales:	Magnesio	1,57	2,29	5,19%
	Silicio	2,29	2,89	
Lubricante	Carbono	18,20	53,86	53,86%
	TOTAL:			100%

Fuente: PFC Brakes, 2021

Realizado por: Ocampo, R. & Yunga, E. 2021

El principal elemento que se pretende eliminar es el amianto, la cual es una fibra que constituye la base de cualquier formulación para obtener las características necesarias del material de fricción.

1.9.3 Composición de las pastillas de freno tipo cerámicas.

Se elaboro un gráfico estadístico para demostrar de mejor manera la composición de los materiales que se los clasifico según una previa investigación sobre las características de cada elemento que conforman la pastilla de freno tipo cerámica de la marca Raybestos tipo cerámica.



Gráfico 2-1: Composición química de la probeta original.

Realizado por: Ocampo, R. & Yunga, E. 2021

1.9.4 Características de las pastillas de freno cerámicas.

La pastilla de freno cerámicas tienen múltiples bondades y características sin embargo nombraremos las más relevantes.

Tabla 4-1: Características de las pastillas de freno cerámicas.

Estabilidad térmica	Densidad baja
Rigidez	Baja conductividad térmica
Mayor dureza	Mayor resistencia
Resistente al desgaste	Mayor resistencia a la corrosión y oxidación
Baja conductividad eléctrica	Elevado rendimiento en altas temperaturas

Fuente: (Estrella Zambrano, 2017)

Realizado por: Ocampo, R. & Yunga, E. 2021

Al visualizar y analizar la pastilla de freno nos podemos percatar también que poseen varias formas o tipos de diseño en su superficie.



Figura 13-1: Tipos de pastillas de freno.

Fuente: (Muscoplat, 2019).

1.9.5 Materiales que conforman las probetas tipo cerámicas elaboradas.

Compuesto por rellenos orgánicos e inorgánicos en polvo o fibra, incluyen fibras de metales, mineral cerámico, entre otros. A continuación, se describen los componentes químicos de las pastillas cerámicas según la ficha técnica de la industria PFC Brakes:

Tabla 5-1: Análisis químico según la Ficha técnica de la empresa PFC Brakes.

MATERIAL	PORCENTAJE	MATERIAL	PORCENTAJE
Aluminio	0.56	Sodio	0.37
Bario	1.67	Azufre	3.15
Carbono	28.3	Antimonio	9.84
Calcio	1.54	Silicona	18
Cobre	22.3	Titanio	2.54
Hierro	0.36	Flúor	<5
Potasio	1.07	Insolubles	9.85
Magnesio	0.45	Total	100 %

Fuente: (PFC Brakes, 2014)

Realizado por: Ocampo, R. & Yunga, E. 2021

Tabla 2-2: Comparativo de composición de acuerdo con la ficha técnica de elaboración de pastillas de freno tipo cerámicas PFC Brakes.

COMPONENTES		Cantidades	Porcentajes
Componentes metálicos:	Cobre	22,3	35,6 %
	Aluminio	0,56	
	Titanio	2,54	
	Antimonio	9,84	
	Hierro	0,36	
Rellenos inorgánicos	Potasio	1,07	7,8%
	Bario	1,67	
	Calcio	1,54	
	Sodio	0,37	
	Azufre	3,15	
	Flúor	< 5	
Cargas minerales:	Magnesio	0,45	18,45 %
	Silicio	18	
Aglutinante	Resina fenólica	9	9 %
Lubricante	Carbono	28,3	29,15%
	Grafito	0,85	
Endurecedor	Poliaminoamida	6	6%
TOTAL:			100%

Realizado por: Ocampo, R. & Yunga, E. 2021

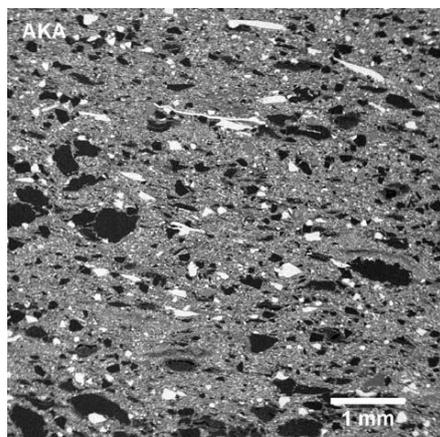


Figura 12-1: Micrografía electrónica de una pastilla de freno tipo cerámica.

Fuente: (PFC Brakes, 2014)

1.9.6 Composición de las pastillas de freno elaborada.

El principal elemento que se pretende eliminar es el amianto, la cual es una fibra que constituye la base de cualquier formulación para obtener las características necesarias del material de fricción. En la actualidad los fabricantes emplean en diferentes cantidades los siguientes elementos:



Gráfico 3-1: Composición del material de fricción NAO elaborada.

Realizado por: Ocampo, R. & Yunga, E. 2021.

1.9.7 Ventajas y limitaciones de las pastillas de freno tipo cerámicas

Tabla 2-1: Ventajas y limitaciones de las pastillas cerámicas.

VENTAJAS	LIMITACIONES
Durabilidad: Poseen más durabilidad y resistencia que las pastillas semimetálicas, metálicas y orgánicas.	Costos: El costo de este tipo de pastillas es más alto en referencia a las demás pastillas.
Silencioso: Debido a los elementos que componen este tipo de pastillas son suaves lo que provoca reducción del ruido al momento de frenar el vehículo.	No aptos para vehículos grandes: No funcionan con vehículos de mayor tamaño, vehículos que transportan pasajeros o SUV.
Reduce el polvo: Las almohadillas que poseen generan poca cantidad de polvo al realizar el frenado.	Desgaste rápido: Debido al material que utilizan se desgastan con rapidez.

Fuente: (BRAKE, HIGH POWER, 2018)

Realizado por: Ocampo, R. & Yunga, E. 2021.

1.10 Tribología.

El término tribología proviene del idioma griego y significa “fricción”, considerando la ciencia que puntualiza en la mecánica de contacto entre dos partes móviles de un mecanismo el mismo que debido a su interacción disipa energía. Se enfoca en temas relacionados al desgaste, fricción, resistencia, superficies interactivas en movimiento. (Brostow, 2003)

1.10.1 Fricción.

La fricción se produce debido al contacto de dos superficies con una fuerza normal a estas, este fenómeno disipa energía, produciendo calor lo cual conlleva a tener efectos perjudiciales en la operación, afectando significativamente el flujo y la deformación de los materiales. (Brostow, 2003)

1.10.2 Desgaste.

Es la alteración de la superficie de un elemento ocasionando daños a la misma, debido a la cantidad de componentes y partes que se encuentran continuamente en movimiento es importante tomar en cuenta el desgaste para evitar un reemplazo o reparación continuo. (Brostow, 2003)

1.10.2.1 Tipos de desgaste.

Desgaste por abrasión.

El desgaste abrasivo se genera cuando partículas duras se introducen en una superficie más suave al deslizarse a través de ella, se produce viruta o residuos que es material perdido al producirse el rozamiento entre un elemento sólido con otro que es igual o de mayor dureza. Se aprecia este desgaste en aperos de maquinaria agrícola, pastillas de freno en contacto con el disco de freno.

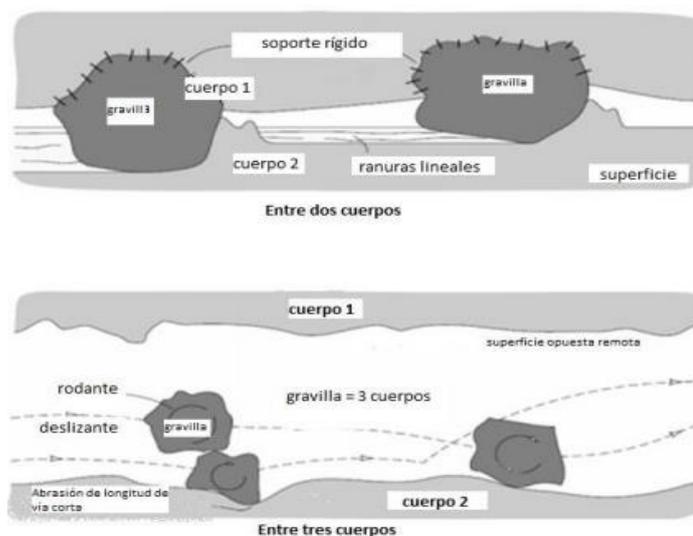


Figura 14-1: Desgaste por abrasión entre dos y tres cuerpos.

Fuente: (Brostow, 2003)

La figura 15-1, muestra el desgaste abrasivo entre dos cuerpos y tres cuerpos. En el desgaste entre dos cuerpos los granos ásperos rígidamente retenidos pasan sobre la superficie como si fuera el funcionamiento de una herramienta de corte o al lijar la superficie de un acero con una lima. (Brostow, 2003)

En el desgaste abrasivo entre tres cuerpos los granos pueden deslizarse sobre la superficie debido a que no están rígidamente sujetas, siendo estos granos que se encuentran deslizando quienes produzcan el desgaste en la superficie del elemento que se esté desgastando. (Brostow, 2003)

1.10.2.2 *Desgaste por fatiga superficial.*

La fatiga se considera como el tipo de daño causado por la acción repetitiva de esfuerzos cíclicos con una amplitud que se encuentra por debajo del límite elástico del material. En la figura podemos ver el resultado de estos esfuerzos cíclicos entre dos superficies en contacto.



Figura 15-1: Desgaste por fatiga.

Fuente: (Brostow, 2003)

El coeficiente de fricción está en relación con la lubricación que se le dé a las superficies en contacto, si es mínimo la lubricación se producirá grietas tanto superficiales como sub superficiales entre los elementos en contacto. (Análisis del desgaste de pastillas de freno en comparativa entre 2500 metros de altura a nivel del mar, 2018)

1.10.2.3 *Desgaste por corrosión.*

Este desgaste se produce debido a una reacción química en la cual el oxígeno reacciona con el medio ambiente provocando el deterioro superficial de la pieza o elemento, produciendo el deterioro, fragilidad. (Diseño y construcción de una máquina para ensayos en desgaste abrasivo según norma técnica ASTM G65 / COGUANOR 41087 h2, 2015)



Figura 16-1: Desgaste por corrosión.

Realizado por: Ocampo, R. & Yunga, E. 2021.

El desgaste por corrosión se produce en dos etapas:

- Primero se forma la capa de óxido en la superficie del elemento.
- Esta película está en contacto entre las superficies en contacto, la cual se remueve al nuevamente estar en funcionamiento los elementos de fricción, causan un desgaste sobre estas superficies mientras desaparece el óxido. (Diseño y construcción de una máquina para ensayos en desgaste abrasivo según norma técnica ASTM G65 / COGUANOR 41087 h2, 2015)

1.10.2.4 *Desgaste por adhesión.*

Se produce el desgaste por adhesión al destruirse los enlaces de atracción que mantienen unidos a los átomos de las dos superficies en contacto cuando se aplica una fuerza para separar estas superficies, se entiende que la parte del material arrancado es menos resistente transfiriéndose al de mayor resistencia ganando más rugosidad, el material desprendido debido a este desgaste, tiene forma de pequeñas partículas las cuales han sido adheridas por la otra superficie. (Diseño y construcción de una máquina para ensayos en desgaste abrasivo según norma técnica ASTM G65 / COGUANOR 41087 h2, 2015)

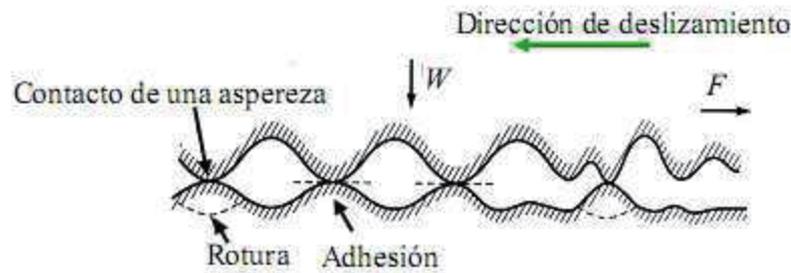


Figura 17-1: Desgaste por adhesión.

Fuente: (Columbié, 2013).

La figura 18-1, muestra el daño producido en la superficie de uno de los elementos que se encontraban en contacto.

1.11 Normas ASTM y Métodos de prueba para ensayos de fricción y desgaste.

La ASTM Internacional es una organización que mantiene un liderazgo en la definición de los materiales, métodos de prueba y ensayos en la mayoría de las áreas de la industria, siendo de esta manera que los servicios comerciales colaboran con la seguridad y confiabilidad de los productos a ser comercializados y utilizados. La ASTM, cuenta con comités técnicos que evalúan, analizan, recolectan información, los cuales en el área de materiales se dividen en metales ferrosos y metales no ferrosos, materiales cementosos, concreto, materiales varios, materiales para aplicaciones específicas; corrosión, deterioro y degradación de materiales. Siendo este último comité donde se puede encontrar la información referente a ensayos de desgaste y fricción denominados ASTM G. (Gharagozlou, 2017)

1.11.1 Ensayo de péndulo de Charpy.

Es un método que nos ayuda a calcular la tenacidad de un material ante el impacto. La norma que debemos tomar en cuenta y guiarnos para realizar este ensayo es la ASTM E-23, en la cual detalla el proceso a seguir como también las dimensiones de las probetas. Charpy y Izod describen el método a seguir para calcular la energía que puede absorber el espécimen roto, también describen que el tamaño de las muestras pequeñas a utilizarse. La probeta debemos realizarle una entallada y debe encontrarse en posición horizontal y ser sujeta por ambos extremos a la cual se le someterá al impacto del martillo en la parte contraria a la entallada. En la figura podemos apreciar la colocación de la muestra en la máquina para realizar el ensayo de Charpy. (Gharagozlou, 2017)

En el caso de materiales blandos se utilizó un péndulo de la serie CEAST Torino el cual tiene un rango de 0 J hasta 15 J que es el rango de energía absorbida, realizamos probetas de dimensiones geométricas estándar (10 mm de ancho, 10 mm de alto, 55 mm de largo) debido a las limitaciones del material, como establece la ASTM E23 utilizamos soportes de fijación que permitieron la

colocación correcta de la probeta, la entallada la realizamos en la parte media de la probeta a 45 grados y 2 mm de profundidad, procedemos a cargar la muestra en la máquina de ensayo Charpy y liberamos el martillo para que se genere el impacto. Los valores resultantes obtenidos después del impacto son referentes a la energía absorbida durante la prueba y podemos visualizar estos resultados en el panel analógico. (Gharagozlou, 2017)

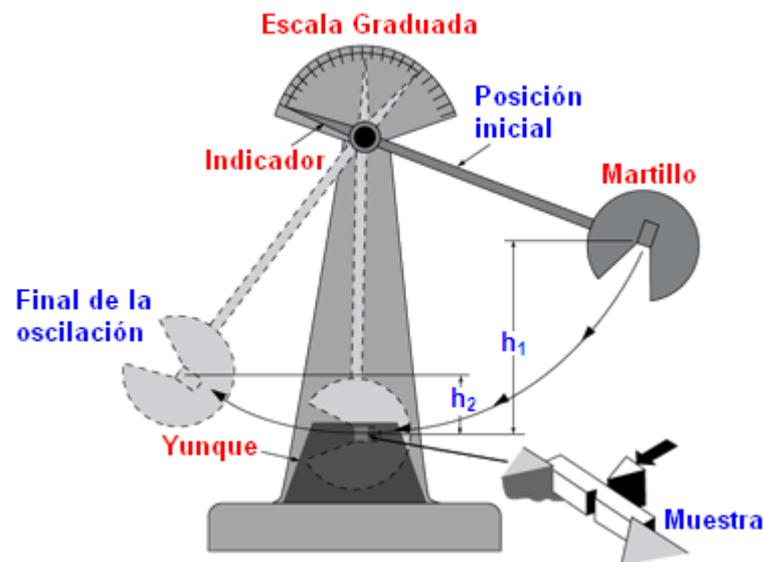


Figura 18-1: Máquina Péndulo de Charpy.

Fuente: (Salazar, 2017).

Debemos precautelar la revisión de la norma ASTM E-23, para cumplir y entender completamente las aplicaciones que se van a realizar.

1.11.2 Desgaste por abrasión de arena seca - Norma ASTM G 65 04.

El ensayo ASTM G65, es conocido también como ensayo de arena seca sobre rueda de caucho, considerado como uno de los métodos de prueba de abrasión más experimentado. El elemento abrasivo para este ensayo es principalmente la arena seca, la probeta para realizar el ensayo y la rueda que debe tener en su cubierta la banda de caucho. La arena que es el elemento abrasivo que cae de manera permanente entre la rueda y la probeta, la severidad del desgaste abrasivo dependerá del tamaño, la dureza y la forma de las partículas abrasivas; la tensión de la partícula abrasiva como también la frecuencia del contacto entre los elementos con la arena. Al momento de realizar este ensayo las condiciones son estandarizadas con la intención de obtener una condición uniforme de desgaste. (Diseño Mecánico eléctrico de un tribómetro para nsayos de resistencia al desgaste abrasivo en pastillas de freno tipo disco según la norma ASTM G65, 2017)

El factor predominante del deterioro de los materiales es la abrasión, entonces el valor de la práctica reside en la predicción, los valores obtenidos después de la pérdida de volumen de la probeta y la posición relativa con respecto al desgaste abrasivo de los materiales según las condiciones establecidas, podemos predecir la vida útil del material en un entorno abrasivo gracias a la comparación de datos obtenidos al realizar varios ensayos con distintas probetas del mismo material a ensayar. Debemos considerar que este ensayo no se debe utilizar para predecir la resistencia abrasiva exacta de un determinado material en un entorno específico debido a que en la práctica no se puede duplicar todas las condiciones reales. (Diseño Mecánico eléctrico de un tribómetro para nsayos de resistencia al desgaste abrasivo en pastillas de freno tipo disco según la norma ASTM G65, 2017)

La flexibilidad paramétrica (carga, velocidad de deslizamiento y la distancia, tamaño y calidad de la arena) de estos parámetros, permite que la configuración que generemos puede proporcionar ventajas en la simulación de diversos sistemas tribológicos, siendo de este modo que el ensayo mediante sus diferentes procedimientos cubra una amplia gama de materiales para su análisis; como cerámicos, compuestos, plásticos, revestimientos. (Diseño Mecánico eléctrico de un tribómetro para nsayos de resistencia al desgaste abrasivo en pastillas de freno tipo disco según la norma ASTM G65, 2017)

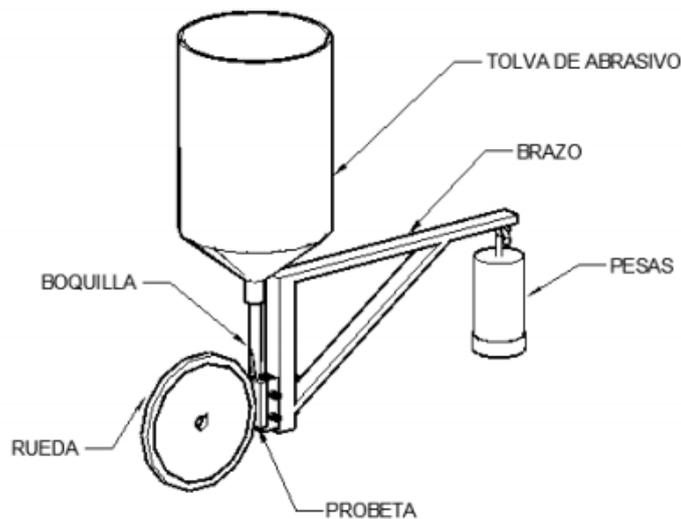


Figura 19-1: Máquina de Desgaste por Arena Seca.

Fuente: (Materiales, 2016)

Los resultados obtenidos en este ensayo se reportan como la pérdida de volumen obtenido en la probeta, dependerá este resultado de la resistencia a la abrasión de los materiales, si el material tiene una mayor resistencia tendrá una pérdida de volumen más bajo y si el material tiene una menor resistencia tendrá una pérdida de volumen más alto. (Diseño Mecánico eléctrico de un tribómetro para nsayos de resistencia al desgaste abrasivo en pastillas de freno tipo disco según la norma ASTM G65, 2017)

1.11.3 Ensayo Pin on Disk - ASTM G99.

Para realizar este ensayo debemos tomar en cuenta la norma ASTM G-99, en la cual detalla los parámetros, dimensiones de la probeta y demás consideraciones recomendadas para realizar el ensayo. La máquina para realizar el ensayo Pin on Disk (perno sobre un disco), es el equipo que permite estudiar la fricción y desgaste entre materiales que interactúan mecánicamente entre sí. El principio de funcionamiento es presionar un perno estacionario al cual es aplicada una carga específica sobre la superficie de un disco giratorio en un tiempo determinado o a una distancia específica generando una pérdida gradual del material debido a la acción de rozamiento entre ambos elementos. (Martinenko, y otros, 2015)

Los resultados obtenidos en este ensayo son la pérdida de volumen en el pin y el disco, permite también determinar la fuerza de rozamiento existente mediante la incorporación de una celda de carga que medirá la fuerza aplicada al disco durante el tiempo que dure el ensayo y entre los materiales. Para obtener el valor de coeficiente de rozamiento resultante se necesita el valor de la fuerza de rozamiento y el valor de la carga normal el cual es aplicado mediante pesas. (Martinenko, y otros, 2015)



Figura 20-1: Máquina de Ensayo Pin on Disk.

Fuente: (Colombia, 2010).

Este ensayo permite calcular el coeficiente de rozamiento entre los materiales que se estén analizando, estudia el desgaste entre diferentes pares de materiales (polímeros, cerámicos, recubiertos, metálicos) y evaluar la influencia de soluciones acuosas, aceites en la fricción de los elementos y su tasa de desgaste. (Martinenko, y otros, 2015)

1.11.4 Ensayo de Dureza Brinell

En el ensayo de dureza Brinell utilizamos un durómetro el cual es la máquina empleada para medir la dureza del material. Se sujeta la probeta que se va a ensayar, aplicando la carga mediante un indentador durante un determinado tiempo. Debido a esta carga aplicada el indentador deja una huella sobre la superficie de la probeta, el tamaño de la huella presente en la superficie permitirá conocer la dureza del material ensayado. (INGEMECANICA, 2018)



Figura 21-1: Máquina para ensayo Brinell.

Realizado por: Ocampo, R. & Yunga, E. 2021.

Los pasos que se debe seguir para realizar este ensayo son:

1. Se debe pulir la superficie de la probeta que se va a ensayar.
2. Colocamos la base de sujeción sobre la cual se va a apoyar la probeta.
3. Verificamos la carga que se va a aplicar sobre la probeta de pastillas de freno cerámica.
4. Colocación del respectivo indentador para la probeta que se va a ensayar, para este ensayo se utilizó un indentador de 5 mm.
5. Colocación del tiempo que se aplicará la carga sobre la superficie de la probeta.
6. Colocamos el indentador coincidentemente con la superficie de la probeta.
7. Aplicamos la carga antes establecida.
8. Transcurrido el tiempo que establecimos retiramos la carga.
9. Procedemos a medir la huella que ha dejado el indentador sobre la superficie de la probeta para poder identificar el valor de dureza que tiene dicho material (INGEMECANICA, 2018)

El diámetro del indentador dependerá del espesor de la probeta que hayamos elaborado, cuando el espesor de la probeta es $>$ a 6mm el \varnothing de la bola del indentador es 10 mm, espesor entre 3 y 6 mm,

Ø de la bola del indentador es 5 mm, espesor menor a 3 mm, Ø de la bola del indentador es 2.5, 1.25, 0.625 mm. (INGEMECANICA, 2018)

La carga (P), se obtiene con la siguiente fórmula:

$$P = K * D^2 \quad (1)$$

Donde:

- P: Carga a aplicar
- K: Constante que depende del tipo de material que se va a ensayar
- D: Diámetro de la bola del indentador (INGEMECANICA, 2018)

Tabla de los valores de la constante K, dependiendo del tipo de material.

Tabla 3-1: Valor de la constante K

Material	Valor Constante <i>K</i>	Tiempo <i>t</i>
Hierro y aceros	30	10 a 30 seg
Bronce, cobre, latón	10	30 seg
Aleaciones ligeras	5	60 a 120 seg
Plomo y estaño	2.5	120 seg
Metales muy blandos	1.25 – 0.5	120 seg

Fuente: (INGEMECANICA, 2018)

Realizado por: Hermenegildo Rodríguez Galbarro.

Para determinar el tiempo (t), el cual estará aplicada la carga sobre la superficie de la probeta, se deberá considerar que mientras más blando es el material para ensayar más tiempo deberá durar la carga aplicada.

Con las anteriores consideraciones, procedemos a medir el diámetro de la huella del indentador el cual está en la superficie de la probeta. El valor que se obtendrá de la dureza del material es el resultado del cociente entre la carga (P) y la superficie de la huella del casquete esférico de la probeta ensayada (S). (INGEMECANICA, 2018)

$$HB = P/S \quad (2)$$

Con la fórmula que se utilizará en el presente trabajo para calcular la dureza brinell es la siguiente

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

Donde:

- HB: Dureza brinell
- P: Carga utilizada en el ensayo (Kp)
- D: Diámetro de la bola del indentador (mm)
- d: Diámetro medido de la huella del indentador en la superficie de la probeta (mm)

CAPÍTULO II

2 Marco Metodológico.

2.1 Hipótesis.

La hipótesis es la suposición de algo que debe ser sometida a prueba empírica para poder ser aceptada o rechazada, de acuerdo con lo que se observe en la realidad (Martínez Mediano, y otros, 2104)

2.1.1 Prueba de la hipótesis

Permite mediante una investigación cuantitativa que va desde el contenido teórico hasta la determinación de la validez de las inferencias estadísticas, pasando por la comprobación empírica efectuada a través de la hipótesis de trabajo. (Juni, y otros, 2014)

2.1.2 Procedimiento para comprobar una hipótesis

1. Establecer la hipótesis a comprobar
2. Nivel de significancia
3. Análisis estadístico a realizarse
4. Formular y efectuar la regla de decisión
5. Toma de decisión

Hipótesis Nula (H₀):

Es la afirmación de los valores de dureza, coeficiente de fricción, cantidad de energía y el desgaste de una probeta de pastilla de freno tipo cerámico comercial, son iguales al sustituir por una probeta de pastilla de freno tipo cerámico elaborada por medio de una decisión estadística.

Hipótesis Alternativa (H_a):

Es la negación de los valores de dureza, coeficiente de fricción, cantidad de energía y el desgaste de una probeta de pastilla de freno tipo cerámico comercial, son diferentes al sustituir por una probeta de pastilla de freno tipo cerámico elaborada por medio de una decisión estadística. **Tipo de investigación.**

2.1.3 Investigación experimental

Para realizar esta investigación experimental se diseñó moldes con dimensiones de acuerdo con normas internacionales aplicadas para la elaboración de probetas de pastilla de freno a las que se

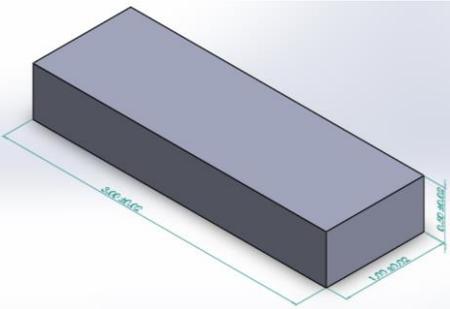
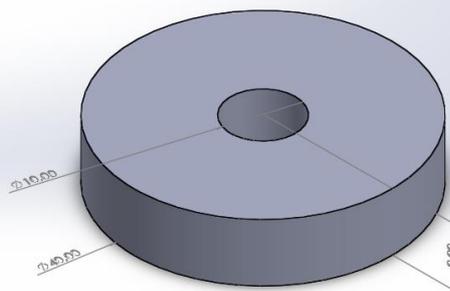
les sometió a actividades diferentes basados en normas internacionales ASTM de fabricación de materiales de fricción y posterior realizar una evaluación de los resultados.

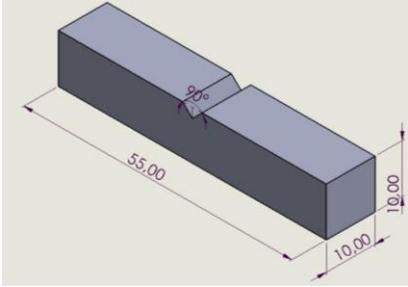
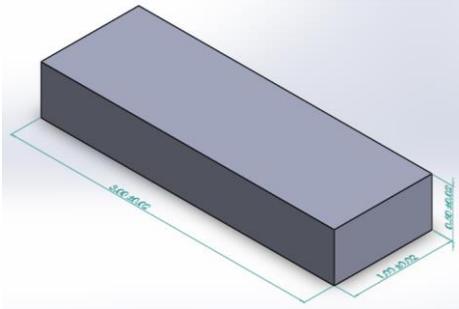
2.2 Materiales y métodos.

2.2.1 Métodos de desgaste por fricción y abrasión.

Las probetas requieren de dimensiones especificadas en normas estandarizadas, las cuales deben cumplir para cada uno de los ensayos tribológicos que se vaya a realizar con dichas probetas.

Tabla 2-2: Características y dimensiones de probetas según cada norma.

Ensayo	Dimensiones	Variables
ASTM G 65 – 04 Standart test method for measuring abrasión using the dry sand / rubber Wheel apparatus	Unidad de medida: pulgadas 	Ensayo Tipo: B Caudal: 400 gr/min Tiempo: 5 min Velocidad: 200 rpm Contrapeso: 45 N Mat. Abrasivo: arena sílice AFS (50 – 70)
ASTM G 99 Standart test method for wear testing with a Pin-on-disk Apparatus	Unidad de medida: milímetros 	Fuerza normal: 22,5 N Distancia: 500 m Radio de ensayo: 18 mm Velocidad: 560 rpm
ASTM E – 23 Ensayo de Charpy		Ensayo de carácter destructivo, se obtiene valores de energía absorbida por la probeta antes de fracturarse. Carga del martillo: 2 J Cantidad de probetas: 10

		Probeta de tipo A
ASTM E – 10 Método de prueba estándar para dureza Brinell	Probetas utilizadas en el ensayo acorde a la norma ASTM G – 65 	Carga aplicada: 31,2 Kgf Esfera de diámetro: 5 mm Tiempo: < 30 seg

Realizado por: Ocampo, R. & Yunga, E. 2021

2.2.2 Materiales y equipos

Los equipos que se han utilizado para realizar los ensayos tribológicos necesarios para analizar las probetas de pastillas de freno se detallan en la tabla:

Tabla 1-3: Codificación de probetas.

Máquina / Herramienta	Identificación	Descripción
Tribómetro desgaste por arena seca		Máquina que debe cumplir con lo establecido en la norma ASTM G – 65 para la realización del ensayo.

Péndulo de Charpy		Máquina que permite determinar la tenacidad de un material. El péndulo cae al lado posterior de la entalla realizada en la probeta hasta romperla, midiendo la energía absorbida por la probeta en el área bajo la curva de carga.
Durómetro Brinell		Máquina que permite determinar la dureza de un material mediante la penetración de una esfera de un diámetro determinado en la superficie de la probeta a ensayarse con las condiciones de carga y tiempo necesarias.
Tribómetro pin on disk		Máquina que permite y mide el desgaste mediante el contacto y rozamiento entre superficies. Parámetros necesarios a tomar en cuenta son la velocidad, tiempo y carga.
Balanza digital		Permite el pesaje de las probetas, la cual utiliza la acción de la gravedad para determinar la masa del objeto.

Pirómetro		Permite medir la temperatura específica mediante la luz infrarroja de un elemento sin la necesidad de estar en contacto con el elemento a medir.
Horno		Dispositivo que genera y almacena el calor en un compartimento cerrado cumpliendo con su función de fundición de materiales.
Calibrador Pie de rey		Permite medir diámetros interiores, exteriores y profundidad, permitiendo que la escala de medición que tiene de medidas lo más exactas posibles.

Realizado por: Ocampo, R. & Yunga, E. 2021.

2.3 Diseño estadístico

Para la comparación estadística de los resultados se utilizó el método de pruebas T-Student de dos colas este es un prototipo de estadística deductiva es un para determinar si existía diferencias entre las medias de las dos probetas sometidas a comparación tomando en cuenta las variables dependientes de cada análisis.

El método estadístico de pruebas T-Student, permite descartar la hipótesis alternativa y comprobar la hipótesis nula, verificar la normalidad de los datos, calcular el valor de P y un nivel de significancia de 0,05 lo cual influye en la confiabilidad de los resultados de un 95%.

2.3.1 Paso 1. Establecimiento de la hipótesis formulada

Aceptar o rechazar la hipótesis nula o alternativa.

2.3.2 Paso 2. Selección del nivel de significancia (α)

Debemos verificar la suposición mediante la selección del nivel de significancia es decir la probabilidad que se rechace la hipótesis nula cuando es verdadera, estos valores varían entre 0 y 1. Mientras menos sea este valor menor es la probabilidad de cometer un error de tipo 1, pudiendo existir la posibilidad de cometer un error tipo

2. Hemos seleccionado un nivel de significancia de 0,05 con el riesgo del 5%.

Error tipo 1: Probabilidad de rechazar la hipótesis nula cuando en realidad es verdadera

Error tipo2: Probabilidad de aceptar la hipótesis nula cuando en realidad es falsa.

2.3.3 Paso 3: Análisis estadístico de la prueba

Mediante la información recolectada se puede llegar a un valor que permitirá determinar si se puede rechazar la hipótesis nula.

- Mediante el método de desviaciones estándares con igual poblaciones se puede comparar las medias muestrales de dos grupos o dos poblaciones independientes con lo cual se determinará si las muestras de las poblaciones pueden tener la misma media, este método no requiere que se conozcan las desviaciones estándares de las poblaciones. Permitiendo una flexibilidad al investigar la diferencia entre las medias de las muestras. (Lind, y otros, 2012)
 1. Las muestras obtenidas de las poblaciones tienen desviaciones estándares iguales pero desconocidas. Por esta suposición, las desviaciones estándares de las muestras se combinan o agrupan.
 2. Utilizamos la distribución t y el estadístico de prueba. (Lind, y otros, 2012)

Mediante las dos desviaciones estándares de las muestras, las agrupamos para formar una sola estimación de la desviación estándar desconocida de la población.

$$\text{Varianza conjunta} \quad Sp^2 = \frac{(n_1 - 1) * S_1^2 + (n_2 - 1) * S_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \quad (3)$$

Donde:

S_1 : varianza de la primera muestra

S_2 varianza de la segunda muestra

Para el cálculo de t se hace mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Prueba de medias de dos muestras} \quad t = \frac{X_1 - X_2}{\sqrt{Sp^2 \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)}} \quad (4)$$

X_1 : media de la primera muestra.

X_2 : media de la segunda muestra.

N_1 : número de observaciones en la primera muestra.

N_2 : número de observaciones en la segunda muestra.

Sp^2 : estimación conjunta de la varianza de la población.

2.3.4 Paso 4: Regla de decisión.

Es el enunciado sobre las condiciones específicas en que se rechaza la hipótesis nula y aquellas en las que no se rechaza. La región de rechazo define la ubicación de todos esos valores que son grandes o pequeños y que la probabilidad de que ocurra en una hipótesis nula verdadera sea muy remota. (Lind, y otros, 2012)

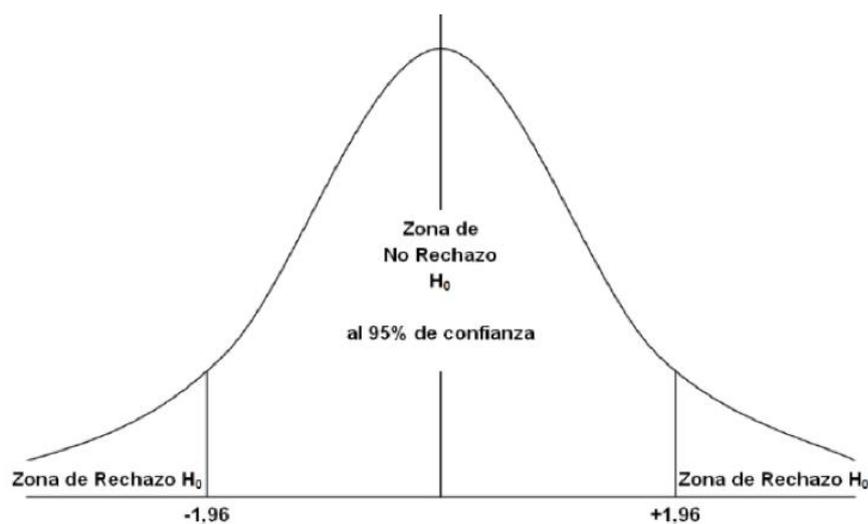


Figura 1-2: Regiones e aceptación y rechazo en una prueba de dos colas.

Fuente: (Parisi Fernández, y otros, 2018).

En la gráfica apreciamos lo siguiente:

- El área en la cual se acepta la hipótesis nula se encuentra entre los valores críticos de 1.96 y -1.96.
- El área de rechazo se puede ver a la derecha de 1.96 y a la izquierda de -1.96.
- Aplicamos la prueba t student de dos colas.
- Un nivel de significancia de 0.05.
- Una distribución muestral del t estadístico tiene una distribución normal.

Valor crítico: Punto de división entre la región en la que se rechaza la hipótesis nula y aquella hipótesis que se acepta.

2.3.5 Paso 5: Toma de la decisión.

Consiste en calcular la t estadística de la prueba que se comparará con el valor crítico lo cual permitirá tomar la decisión de rechazar o aceptar la hipótesis nula. (Lind, y otros, 2012)

2.4 Procedimiento.

2.4.1 Elaboración de las probetas.

Elaboración de las probetas tipo cerámicas elaboradas a partir de una ficha técnica de la industria PFC Brakes para materiales de fricción y una probeta de pastilla de freno elaborada a partir de una pastilla de freno tipo cerámica comercial.

2.4.2 Cálculo del porcentaje de masa de los elementos de la probeta de pastilla de freno elaborada.

Para calcular el porcentaje de cada elemento que conforma la probeta de pastilla de freno tipo cerámica nos basamos en los porcentajes y densidades de la pastilla de freno original.

- Cálculo de masa para el Bario

$$M_{Ba} = Vt * \% * \delta$$

$$M_{Ba} = 141,23\text{cm}^3 * 0,0167 * 3,59 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

$$M_{Ba} = 8,46 \text{ gr}$$

Debido a errores que se pudieren presentar consideran un factor de 10%

$$M_{Ba} = 8,46 + (0,1 * 8,46)$$

$$M_{Ba} = 9,30 \text{ gr}$$

- Cálculo de masa para el Calcio

$$M_{Ca} = 3,37 \text{ gr} + (0,1 * 3,37)$$

$$M_{Ca} = 3,7 \text{ gr}$$

- Cálculo de masa para el Potasio

$$M_{Po} = 1,3 \text{ gr} + (0,1 * 1,3)$$

$$M_{Po} = 1,4 \text{ gr}$$

- Cálculo de masa para el Magnesio

$$M_{Mg} = 1,10 \text{ gr} + (0,1 * 1,10)$$

$$M_{Mg} = 1,21 \text{ gr}$$

- Cálculo de masa para el Aluminio

$$M_{Al} = 2,1 \text{ gr} + (0,1 * 2,1)$$

$$M_{Al} = 2,31 \text{ gr}$$

- Cálculo de masa para el Carbono

$$M_C = 68,75 \text{ gr} + (0,1 * 68,75)$$

$$M_C = 75,6 \text{ gr}$$

- Cálculo de masa para el Cobre

$$M_{Cu} = 282,22 \text{ gr} + (0,1 * 282,22)$$

$$M_{Cu} = 310 \text{ gr}$$

- Cálculo de masa para el Sodio

$$M_{Na} = 0,50 \text{ gr} + (0,1 * 0,50)$$

$$M_{Na} = 0,55 \text{ gr}$$

- Cálculo de masa para el Azufre

$$M_S = 8,72 \text{ gr} + (0,1 * 8,72)$$

$$M_S = 9,6 \text{ gr}$$

- Cálculo de masa para el Antimonio

$$M_{Sb} = 92,84 \text{ gr} + (0,1 * 92,84)$$

$$M_{Sb} = 102 \text{ gr}$$

- Cálculo de masa para el Flúor

$$M_F = 6 \text{ gr} + (0,1 * 6)$$

$$M_F = 6,6 \text{ gr}$$

- Cálculo de masa para el Hierro

$$M_{Fe} = 4 \text{ gr} + (0,1 * 4)$$

$$M_{Fe} = 4,4 \text{ gr}$$

- Cálculo de masa para el Titanio

$$M_{Ti} = 16,3 \text{ gr} + (0,1 * 16,3)$$

$$M_{Ti} = 17,9 \text{ gr}$$

- Cálculo de masa para el Grafito

$$M_{Gra} = Vt * \% * \delta$$

$$M_{Gra} = 0,47 \text{ cm}^3 * 0,95 * 2,15 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

$$M_{Gra} = 0,95 \text{ gr}$$

- Cálculo de masa para el Aglutinante. (Resina Fenólica)

$$M_{RF} = Vt * \% * \delta$$

$$M_{RF} = 0,8 \text{ cm}^3 * 9 * 1,25 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

$$M_{RF} = 3 \text{ gr}$$

Tabla 2-2: Porcentaje de los materiales para la probeta elaborada

Material	Porcentaje masa de la composición	Densidad (g/cm ³)
Bario (Ba)	1.67%	3.59
Calcio (Ca)	1.54%	1.55
Potasio (Po)	1.07%	0.86
Magnesio (Mg)	0.45%	1.738
Aluminio (Al)	0.56%	2.7
Cobre (Cu)	22.3%	8.96
Sodio (Na)	0.37%	0.97
Azufre (S)	2.80%	2.07

Antimonio (Sb)		9.84%	6.68
Flúor (F)		5%	1.7
Hierro (Fe)		0.36%	7.87
Titanio (Ti)		2.54%	4.54
Lubricante	Carbono(C)	28,3%	2.26
	Grafito (Gra)	0,85%	2,15
Aglutinante	Resina fenólica (R.F)	3%	1,25
Endurecedor	Poliaminoamida	6%	1,41

Fuente: Ocampo, R. & Yunga, E. 2021

2.4.3 Procedimiento de fabricación de la probeta elaborada.

Un proceso de fabricación estandarizado en el cual las variables dependen del tipo y cantidad de materiales que utiliza el fabricante en la composición del material de fricción. Los pasos fundamentales que se deben llevar a cabo para la fabricación son: (Tamayo, 2015)

1. Obtención de un molde con las dimensiones establecidas para cada norma ASTM E – 23 ensayo de péndulo de Charpy, ASTM G – 99, ensayo Pin on Disk, ASTM G – 65 desgaste por medio de arena seca, ASTM E – 10 ensayo de dureza Brinel.



Figura 2-2: Molde de las probetas elaboradas.

Realizado por: Ocampo, R. & Yunga, E. 2021

2. Obtención de los materiales.

En algunos metales se utilizó fibras de metales, y otros se encontró de forma comercial en forma de polvos.



Figura 3-2: Elementos conformantes de las probetas elaboradas.

Realizado por: Ocampo, R. & Yunga, E. 2021

3. Procesos de mezclado de los elementos que conforman la pastilla de freno.

Permite la mezcla de todos los componentes incluido el aglutinante de manera homogénea, el mezclador cuenta con un eje central que permite mezclar los componentes mientras esta gira conjuntamente obtener una homogenización correcta de la mezcla. (Tamayo, 2015)



Figura 4-2: Homogenización de los componentes.

Realizado por: Ocampo, R. & Yunga, E. 2021

4. Moldeado

Colocamos la mezcla homogenizada en el molde.



Figura 5-2: Llenado de probetas con la mezcla homogenizada.

Realizado por: Ocampo, R. & Yunga, E. 2021

5. Prensado caliente.

Aplicamos una carga de 200 bares al molde que permite el aglutinamiento de los materiales, por una parte, mediante la presión ejercida se consigue la reducción del volumen de la pastilla y la temperatura permite fundir las resinas para que fluyan por todo el material permitiendo la unión de los elementos. La presión ejercida sobre la pastilla de freno se realiza en intervalos de tiempo para permitir la salida de gases. Consecuentemente en esta etapa se adhiere los soportes al material de fricción. (Tamayo, 2015)



Figura 6-2: Aplicación de la carga al molde de probetas.

Realizado por: Ocampo, R. & Yunga, E. 2021

6. Horneado

Se realiza en hornos, lo cual permite la polimerización de las resinas que existan en la homogenización de los materiales permitiendo una perfecta compactación del material como también eliminar el contenido volátil de algunos elementos. Los dos parámetros principales son la temperatura de 250 a 500°C y el tiempo de 4 a 6 horas que se alcanza en las diferentes etapas, lo que produce que la pastilla de freno vaya sufriendo una variación de temperaturas en periodos determinados. (Tamayo, 2015)



Figura 7-2: Control de temperatura de la cámara.

Realizado por: Ocampo, R. & Yunga, E. 2021

7. Curado

Llevamos nuevamente a la prensa después de sacar del horno el molde con las probetas de pastilla de freno cerámicas, la presión ejercida sobre la pastilla de freno se realiza en intervalos de tiempo para permitir la salida de gases.

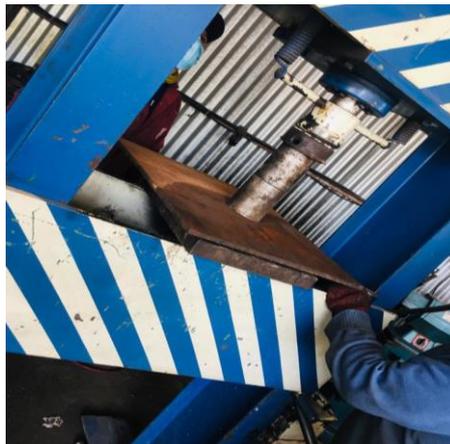


Figura 8-2: Aplicación de carga con el molde caliente

Realizado por: Ocampo, R. & Yunga, E. 2021

8. Extracción de las probetas de pastilla de freno cerámica del molde.



Figura 9-2: Extracción de las probetas del molde.

Realizado por: Ocampo, R. & Yunga, E. 2021

A continuación, podemos ver la gráfica donde se ven las etapas que han permitido la obtención de las probetas de pastillas de freno, la cual al transcurrir el tiempo han permitido su fabricación.

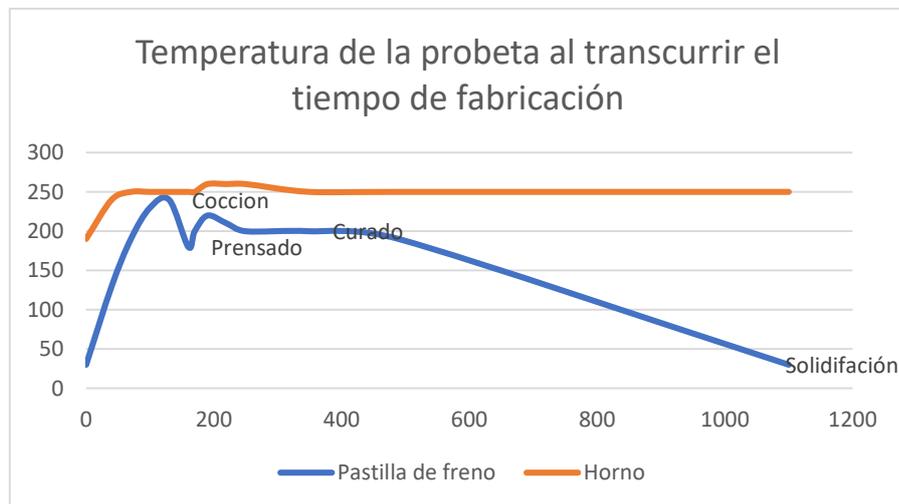


Gráfico 1-2: Línea de tiempo de fabricación de las probetas.

Realizado por: Ocampo, R. & Yunga, E. 2021

2.4.4 Elaboracion de las probetas originales.

Elaborada a partir de una pastilla de freno tipo ceramica comercial.

1. Obtencion de las patillas de freno tipo ceramica tomando en cuenta las dimensiones del espesor de cada probeta .



Figura 10-2: Patillas de freno comercial

Realizado por: Ocampo, R. & Yunga, E. 2021

2. Cortamos la pastilla para elaborar las probetas de acuerdo con las dimensiones establecidas por cada norma.

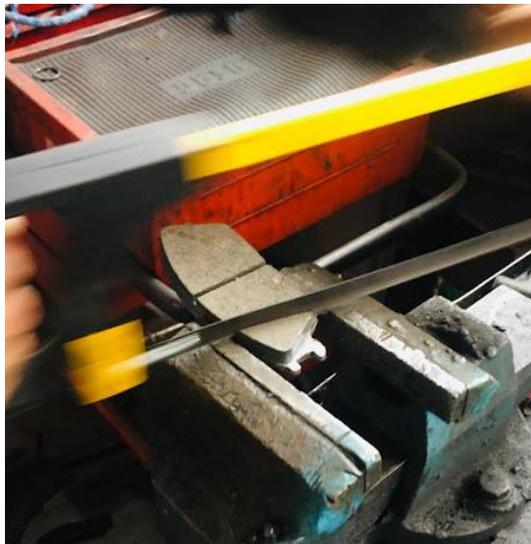


Figura 11-2: Corte de las probetas.

Realizado por: Ocampo, R. & Yunga, E. 2021

3. Comparar las dimensiones con un calibrador de acuerdo a las dimensiones de cada norma.



Figura 12-2: Comparación de medidas de las probetas originales.

2.4.5 *Identificación de las probetas originales y fabricadas.*

Codificar las probetas permite llevar un registro de las probetas a ensayar, para este estudio se realizó 8 probetas de pastillas de freno cerámicas, detallando a continuación:

Tabla 3-2: Codificación de las probetas.

Probetas	Código
Probeta Original Raybestos I	PO – I
Probeta Original Raybestos II	PO – II
Probeta Original Raybestos III	PO – III
Probeta Original Raybestos IV	PO – IV
Probeta Cerámica Elaborada I	PE – I
Probeta Cerámica Elaborada II	PE – II
Probeta Cerámica Elaborada III	PE – III
Probeta Cerámica Elaborada IV	PE – IV

Realizado por: Ocampo, R. & Yunga, E. 2021.

CAPITULO III

3 MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.

Introducción.

Descripción de los procedimientos que se realizó para la elaboración y comprobación de las probetas de pastillas de freno tipo cerámicas para su posterior análisis mediante los ensayos de; fricción, fuerza, absorción de energía y desgaste, tomando en cuenta las normas de calidad que debemos aplicar para realizar los ensayos determinaremos las características de las máquinas y herramientas para realizar las probetas y su análisis tribológico. En la fabricación de las probetas explicaremos la cantidad de cada material que utilizamos para la composición de la probeta de pastilla de freno así como también el procedimiento que llevamos a cabo para obtener las pastillas de freno, concluiremos con el análisis tribológico de las pastillas de freno tipo cerámico tomando en cuenta las normas de calidad en las que nos basamos ASTM E – 23 a la cual hace referencia el ensayo de péndulo de Charpy, ASTM G – 99, ensayo Pin on Disk, ASTM G – 65 desgaste por medio de arena seca, ASTM E – 10 ensayo de dureza Brinell; normas que nos permitirán obtener y verificar la calidad mediante los resultados obtenidos entre las probetas de pastillas de freno original comercializadas en el mercado actual entre las fabricadas por nosotros y llevar a cabo esta comparación y análisis de resultados obtenidos en los ensayos.

3.1 Preparación de las probetas.

El molde utilizado para realizar las probetas de pastilla cerámica cuenta con las dimensiones necesarias acorde a cada probeta para cada tipo de ensayo destructivo y no destructivo que se realizará.



Figura 1-3: Molde utilizado para la elaboración de las probetas.

Realizado por: Ocampo, R. & Yunga, E. 2021

3.1.1 *Probetas para el ensayo de Péndulo de Charpy.*

En la figura 1-3, se aprecia el molde de la probeta, donde se colocará la composición de la pastilla de freno que hemos impuesto para la fabricación y posterior ensayo de charpy.



Figura 2-3: Molde para probetas de ensayo de Charpy.

Realizado por: Ocampo, R. & Yunga, E. 2021

Para calcular el volumen de las probetas para este ensayo tomamos en cuenta las siguientes medidas que obtenemos del molde donde elaboraremos las probetas.

$$\begin{aligned} V_1 &= h_1 * b_1 * H_1 * 3 & (5) \\ V_1 &= 59mm * 10mm * 12mm * 3 \\ V_1 &= 2124mm^3 = 21,24 cm^3 \end{aligned}$$

Donde:

- h_1 : longitud corta.
- b_1 : longitud larga.
- H_1 : altura.
- V_1 : volumen total de las probetas para ensayar.

3.1.2 *Probetas para el ensayo de desgaste por abrasión.*

En la figura 2-3, se aprecia el molde de la probeta, donde se colocará la composición de la pastilla de freno que hemos impuesto para la fabricación y posterior ensayo de desgaste por abrasión.



Figura 3-3: Molde de probetas para ensayo de desgaste por arena seca

Realizado por: Ocampo, R. & Yunga, E. 2021

Para calcular el volumen de las probetas para el ensayo de desgaste por abrasión tomamos las medidas del molde para esta probeta.

$$V_2 = h_2 * b_2 * H_2 * 3 \quad (6)$$

$$V_2 = 80mm * 25,4mm * 14,7 mm * 3$$

$$V_2 = 8983,5mm^3 = 89,8 cm^3$$

Donde:

- h_2 : longitud corta.
- b_2 : longitud larga.
- H_2 : altura.
- V_2 : volumen total de las probetas para ensayar.

3.1.3 *Probetas para el ensayo Pin on Disk*

En la figura 4-3, se aprecia el molde de la probeta, donde se colocará la composición de la pastilla de freno que hemos impuesto para la fabricación y posterior ensayo Pin on disk.



Figura 4-3: Molde para probetas de ensayo pin on disk

Realizado por: Ocampo, R. & Yunga, E. 2021

Para calcular el volumen de las probetas para el ensayo de desgaste por abrasión tomamos las medidas del molde para esta probeta.

$$V_3 = \pi * R^2 * H_3 * 3 \quad (7)$$

$$V_3 = 3,141mm * (20 mm)^2 * 8 mm * 3$$

$$V_3 = 3015,9mm^3 = 30,15 cm^3$$

Donde:

- R: longitud corta.
- H₃: altura.
- V₃: volumen total de las probetas para ensayar.

El volumen total de todas las probetas es la suma del volumen de cada tipo de probetas.

$$Vol. total = V_1 + V_2 + V_3 \quad (8)$$

$$Vol. total = 21,24cm^3 + 89,83 cm^3 + 30,15 cm^3$$

$$Vol. total = 141,23 cm^3$$

3.2 Ensayos Tribológicos realizados.

3.2.1 Ensayo de Péndulo de Charpy.

Para realizar el ensayo del péndulo de charpy utilizamos la máquina CEAST, la cual tiene la característica que es utilizada para realizar pruebas en materiales no tan resistentes (termoplásticos, cerámicos). La capacidad que tiene esta máquina es entre 0 Joules a 25 Joules.



Figura 5-3: Máquina péndulo de Charpy.

Realizado por: Ocampo, R. & Yunga, E. 2021

Calificamos las probetas que utilizamos para realizar el ensayo en dos grupos:

- Probetas Originales de pastillas de freno cerámicas Raybestos (PO – I, PO – II, PO – III, PO – IV, PO - V)

- Probetas elaboradas de pastillas de freno cerámicas (PE – I, PE – II, PE – III, PE – IV, PE - V)

A todas las probetas procederemos a realizar el ensayo para poder realizar el análisis comparativo con los resultados obtenidos.



Figura 6-3: Probetas elaboradas para el ensayo Charpy.

Realizado por: Ocampo, R. & Yunga, E. 2021

Los pasos que seguimos para realizar el ensayo fueron los siguientes:

1. Verificar las dimensiones de cada una de las probetas elaboradas tanto las originales como las elaboradas, con lo cual posteriormente podremos calcular el valor de la energía absorbido por cada una de las probetas al realizar el impacto.
2. En la máquina colocamos 2 Jules de energía para que el martillo pueda realizar en la probeta de pastilla de freno cerámica



Figura 7-3: Aplicación de la energía para el martillo.

Realizado por: Ocampo, R. & Yunga, E. 2021

- Colocamos el martillo en la parte más alta colocando el seguro, el cual fijará al martillo hasta el momento de realizar el ensayo



Figura 8-3: Posicionamiento inicial del martillo.

Realizado por: Ocampo, R. & Yunga, E. 2021

- Colocamos la probeta en la parte inferior, de manera que quede completamente apoyada en los dos extremos y tomando en cuenta la posición de la muesca que realizamos en una de las superficies de la probeta.



Figura 9-3: Colocación de la probeta a ensayar.

Realizado por: Ocampo, R. & Yunga, E. 2021

- Retiramos el seguro permitiendo que el martillo caiga e impacte contra la probeta de pastilla de freno cerámica, posterior a ello verificamos el valor de la energía absorbida por la probeta al momento del impacto.



Figura 10-3: Verificación de la lectura de energía absorbida.

Realizado por: Ocampo, R. & Yunga, E. 2021

6. Repetimos el procedimiento antes mencionado con el resto de las probetas

Una vez finalizado los ensayos podemos analizar la cantidad de energía absorbida por cada una de las pastillas al momento del impacto permitiendo comparar si las probetas elaboradas tienen similitud con las probetas originales.



Figura 11-3: Probetas resultantes después del impacto.

Realizado por: Ocampo, R. & Yunga, E. 2021

Detalle de los valores de energía absorbida por cada una de las probetas de pastillas de freno.

Tabla 4-3: Energía absorbida por las probetas originales en el ensayo de péndulo de Charpy.

ENSAYO EN PROBETAS ORIGINALES RAYBESTOS					
Identificación	Largo (mm)	Ancho (mm)	Altura (mm)	Entallado (mm)	Energía Absorbida (J)

PO – I	57,00	10,38	10,20	1,42	0,31
PO – II	59,20	9,32	9,54	1,26	0,31
PO – III	58,60	9,24	9,76	1,66	0,30
PO – IV	59,20	9,40	9,74	1,30	0,29
PROMEDIO					0,29

Realizado por: Ocampo, R. & Yunga, E. 2021

Las probetas de freno originales de raybestos de origen Estadounidense a las que se realizó el ensayo de Charpy con una energía de 2 Joules, arrojaron valores de energía absorbida que están en el rango de 0,26 a 0,31 Joules, con un valor medio de energía absorbida de 0, 29 Joules, resultado referencial el cual nos servirá para comparar con el ensayo que realizaremos a las probetas de pastilla de freno que elaboramos.

Tabla 5-3: Energía absorbida por las probetas elaboradas en el ensayo de péndulo de Charpy.

ENSAYO EN PROBETAS CERAMICAS ELABORADAS					
Identificación	Largo (mm)	Ancho (mm)	Altura (mm)	Entallado (mm)	Energía Absorbida (J)
PE – I	56,90	9,20	10,20	1,30	0,16
PE – II	58,92	9,60	10,12	1,50	0,15
PE – III	58,36	9,70	10,06	1,10	0,18
PE – IV	57,80	9,38	10,50	1,38	0,15
PROMEDIO					0,15

Realizado por: Ocampo, R. & Yunga, E. 2021

La energía absorbida por las probetas de pastillas de freno tipo cerámicas elaboradas presentan un rango de energía absorbida de 0,12 a 0,18 Joules, con un valor medio de 0,15 Joules, valor el cual está muy por debajo de los valores obtenidos en el ensayo realizado en las pastillas originales Raybestos; dándonos a entender que la composición que hemos implementado en las probetas elaboradas no cumple con la absorción de energía esperada al momento del impacto.

3.2.2 *Ensayo de Desgaste por abrasión de arena seca.*

El procedimiento que se siguió para realizar el ensayo de arena seca fue en base a la norma ASTM G65, el cual establece que puede realizarse en materiales altamente resistentes a la abrasión, permitiendo calificar los materiales de resistencia a la abrasión media y baja.



Figura 12-3: Máquina para el ensayo ASTM G65.

Realizado por: Ocampo, R. & Yunga, E. 2021

Utilizamos cuatro probetas de cada tipo de probetas, a las cuales sometimos al ensayo de desgaste para posteriormente realizar un análisis comparativo de los resultados obtenidos.

Para la identificación de las probetas mantenemos el mismo sistema de identificación que utilizamos en el ensayo de charpy.



Figura 13-3: Probetas originales y elaboradas para el ensayo.

Realizado por: Ocampo, R. & Yunga, E. 2021

Pasos realizados en base a la norma ASTM G65.

1. Realizar el pesaje de cada una de las probetas a ensayar, mediante una balanza la cual debe tener una tolerancia de 0,1 g.

2. Verificar el flujo del caudal de la arena que verterá mediante la boquilla la arena sílice, el flujo lo podemos variar mediante la llave de paso y pesando la cantidad de arena que cae durante un minuto, para este ensayo el caudal utilizado fue de 400 g/min.



Figura 14-3: Verificación del caudal de la arena sílice.

Realizado por: Ocampo, R. & Yunga, E. 2021

3. Colocamos la probeta en el soporte con el que cuenta la máquina de arena seca, ajustando los pernos para mantener de manera fija la probeta.



Figura 15-3: Colocación de la probeta.

Realizado por: Ocampo, R. & Yunga, E. 2021

4. Colocamos una carga de 45 N en el brazo el cual permitirá que se produzca la fricción entre el disco y la probeta mientras cae la arena sílice.



Figura 16-3: Colocación de la pesa en la máquina.

Realizado por: Ocampo, R. & Yunga, E. 2021

5. Una vez colocada la probeta, procedemos a verificar el caudal de la arena sílice, como también que se esté produciendo el contacto entre el disco y la probeta gracias a la pesa colocada en el extremo del brazo.
6. Encendemos la máquina y mediante un cronometro tomamos el tiempo por cada probeta a ensayar que debe ser de 5 minutos para ensayos de tipo B.



Figura 5-3: Fricción producida ente el disco y probeta.

Realizado por: Ocampo, R. & Yunga, E. 2021

7. Una vez culminado el ensayo en cada una de las probetas podemos visualizar el desgaste producido en la superficie de la probeta y procedemos nuevamente el pesaje de cada una de las probetas mediante la balanza.



Figura 18-3: Probeta desgastada después de la fricción.

Realizado por: Ocampo, R. & Yunga, E. 2021

Una vez culminado el ensayo podemos apreciar el desgaste producido debido a la fricción como también si existen fisuras o roturas en las probetas; con lo cual nos dará una idea clara de la predicción de desgaste de la probeta, datos de la tabla en la cual detallamos características geométricas de las pastillas de freno, así como el peso inicial y final de la probeta.

Tabla 6-3: Datos obtenidos en las probetas originales en el ensayo de desgaste por arena seca.

ENSAYO EN PROBETAS CERAMICAS RAYBESTOS										
Identificación	Largo (mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Peso inicial (g)	Peso final (g)			Peso final promedio (g)	Masa perdida (g)	Volumen perdido (mm ³)
PO – I	81,00	26,00	10,12	50,00	46,24	46,21	46,22	46,22	3,78	536,93
PO– II	80,00	26,38	10,00	49,61	46,56	46,55	46,54	46,55	3,06	434,04
PO – III	80,00	26,80	10,30	49,61	47,71	47,69	47,70	47,7	1,91	283,38
PO – IV	81,26	25,90	10,00	49,61	46,63	46,63	46,61	46,62	2,99	422,91
PROMEDIO				49,70				46,77	2,93	419,31

Realizado por: Ocampo, R. & Yunga, E. 2021

Para obtener el valor de la masa perdida realizamos la diferencia entre la masa inicial y la masa final después de culminar el ensayo de desgaste en cada una de las probetas.

Tabla 7-3: Volumen promedio perdido por probeta

Probeta	Volumen promedio (cm ³)
PO – I	7,10
PO – II	7,03
PO – III	7,36
PO – IV	7,01

Realizado por: Ocampo, R. & Yunga, E. 2021

Volumen promedio final 7,12 cm³

$$\text{Masa perdida pro} = \text{Masa inicial pro} - \text{Masa fin prom} \quad (10)$$

$$\text{Masa perdida pro} = 49,70 - 46,77$$

$$\text{Masa perdida pro} = 2,93 \text{ g}$$

El volumen perdido en las probetas después del ensayo lo calculamos con el dato de la densidad promedio de las probetas.

$$\delta \text{ prom} = \frac{\text{masa prom}}{\text{volumen prom}} \quad (11)$$

$$\delta \text{ prom} = \frac{49,70 \text{ g}}{7,12 \text{ cm}^3}$$

$$\delta \text{ prom} = 6,98 \text{ g/cm}^3$$

Para realizar el cálculo del volumen perdido lo realizamos con la siguiente formula.

$$\text{Volumen perdido prom} = \frac{\text{masa perdida promedio}}{\delta \text{ promedio}} * 1000 \quad (12)$$

$$\text{Volumen perdido prom} = \frac{2,93 \text{ g}}{6.98 \text{ g/cm}^3} * 1000$$

$$\text{Volumen perdido prom} = 419,77 \text{ mm}^3$$

Los valores obtenidos permitirán tener una guía de lo que esperamos obtener como resultado al realizar el ensayo de desgaste por arena seca en las probetas que se elaboró.

Tabla 8-3: Datos obtenidos en las probetas elaboradas en el ensayo de desgaste por arena seca

ENSAYO EN PROBETAS CERAMICAS ELABORADAS										
Identificación	Largo (mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Peso inicial (g)	Peso final (g)			Peso final promedio (g)	Masa perdida (g)	Volumen perdido (mm ³)
PE – I	79,00	23,80	12,50	44,00	35,74	35,73	35,74	35,75	8,25	4411,76
PE– II	79,00	24,52	12,70	42,52	36,95	36,93	36,94	36,94	5,58	3244,18
PE – III	79,10	24,00	13,30	43,94	36,71	36,70	36,71	36,70	7,24	4160,91
PE – IV	78,34	23,90	13,00	41,10	34,08	34,08	34,09	34,08	7,02	4178,57
PROMEDIO				42,89				35,86	7,02	3998,85

Realizado por: Ocampo, R. & Yunga, E. 2021

Para obtener el valor de la masa perdida realizamos la diferencia entre la masa inicial y la masa final después de culminar el ensayo de desgaste en cada una de las probetas.

Tabla 9-3: Volumen promedio perdido por probeta

Probeta	Valor promedio (cm ³)
PE – I	7,83
PE – II	8,20
PE – III	8,41
PE – IV	8,11

Realizado por: Ocampo, R. & Yunga, E. 2021

Volumen promedio final 8,13 cm³

$$Masa\ perdida\ pro = Masa\ inicial\ pro - Masa\ fin\ prom \quad (13)$$

$$Masa\ perdida\ pro = 42,89 - 35,86$$

$$Masa\ perdida\ pro = 7,03\ g$$

El volumen perdido en las probetas después del ensayo lo calculamos con el dato de la densidad promedio de las probetas.

$$\delta\ prom = \frac{masa\ prom}{volumen\ prom} \quad (14)$$

$$\delta \text{ prom} = \frac{42,89 \text{ g}}{8,13 \text{ cm}^3}$$

$$\delta \text{ prom} = 5,27 \text{ g/cm}^3$$

Para realizar el cálculo del volumen perdido lo realizamos con la siguiente formula.

$$\text{Volumen perdido prom} = \frac{\text{masa perdida promedio}}{\delta \text{ promedio}} * 1000 \quad (15)$$

$$\text{Volumen perdido prom} = \frac{7,03 \text{ g}}{5,27 \text{ g/cm}^3} * 1000$$

$$\text{Volumen perdido prom} = 1333,96 \text{ mm}^3$$

3.2.3 *Ensayo de Dureza Brinell.*

EL ensayo de dureza Brinell permite medir la resistencia de un material al ser penetrado mediante un indentador. Para el tipo de probetas de pastillas de freno cerámica utilizamos un indentador tipo bola, escala de medición HB.



Figura 19-3: Durómetro.

Realizado por: Ocampo, R. & Yunga, E. 2021

Las probetas utilizadas en este ensayo fueron las probetas que elaboramos para el ensayo de desgaste por arena seca ya que este ensayo es de carácter no destructivo, debido a que en este tipo de ensayo la fuerza ejercida por el indentador es sobre un área pequeña de la superficie de la probeta.

El procedimiento que se realizó fue el siguiente:

1. Introducir en el durómetro la carga, precarga y velocidad de la carga.
2. Identificar y colocar la punta del penetrador de acuerdo con el material que se vaya a ensayar en este caso utilizamos un indentador de 5 mm.
3. Colocar la probeta sobre la base y subir la misma hasta la posición más alta.
4. Observar que coincidan el punto de contacto con el eje para poder dar inicio al movimiento del penetrador.
5. Aplicamos la carga accionando la palanca del costado derecho.
6. Una vez estable el indicador de carga, retiramos el penetrador volviendo a colocar la palanca en su posición inicial.
7. Bajamos la base donde está apoyada la probeta y retiramos la misma.
8. Identificamos la huella que ha dejado sobre la superficie de la probeta el penetrador.
9. Repetimos el procedimiento con las demás probetas de pastilla de freno tipo cerámica.

Tabla 10-3: Datos obtenidos en las probetas originales en el ensayo de dureza Brinell.

ENSAYO EN PROBETAS CERAMICAS ORIGINALES RAYBESTOS									
Identificación	Diámetro esfera (mm)	Fuerza aplicada (n)	Diámetro medido (mm)					Diámetro promedio (mm)	Dureza Promedio (hb)
PO – I	5,00	59,96	2,72	2,6	2,68	2,628	2,46	2,6176	129,8
PO – II	5,00	59,96	2,6	2,616	2,644	2,9	2,724	2,6968	121,6
PO – III	5,00	59,96	2,56	2,284	2,248	2,528	2,644	2,4528	150,8
PO – IV	5,00	59,96	2,592	2,496	2,604	2,636	2,576	2,5808	133,2
PROMEDIO								2,6095	133,85

Realizado por: Ocampo, R. & Yunga, E. 2021

Tabla 11-3: Datos obtenidos en las probetas elaboradas en el ensayo de dureza Brinell.

ENSAYO EN PROBETAS CERAMICAS ELABORADAS									
Identificación	Diámetro esfera	Fuerza aplicada	Diámetro medido (mm)					Diámetro promedio (mm)	Dureza Promedio (hb)
PE – I	5,00	59,96	2,876	2,756	2,972	2,828	2,764	2,8392	108,14
PE – II	5,00	59,96	2,848	2,928	2,932	2,888	2,964	2,912	102,2
PE – III	5,00	59,96	2,956	2,888	2,954	2,956	2,988	2,9484	99,4

PE – IV	5,00	59,96	2,888	2,936	2,9	2,928	2,92	2,9144	101,8
PROMEDIO								2,9035	102,88

Realizado por: Ocampo, R. & Yunga, E. 2021

3.2.4 Ensayo Pin on Disk

Este ensayo está basado en la norma ASTM G99, en la cual establece el procedimiento y máquina necesaria para realizar los ensayos en las probetas originales y elaboradas.

Los valores resultantes obtenidos hemos resumido en las tablas a continuación permitiendo comprender la importancia de estos datos, así como también el coeficiente de fricción en cada una de las probetas.

Tabla 12-3: Datos obtenidos en las probetas originales en el ensayo Pin on Disk.

Identificación	Diámetro (mm)	Espesor (mm)	Peso Inicial (g)	Peso final (g)	Peso Perdido (g)	Volumen perdido (mm ³)	Tasa de desgaste (mm ³ /nm)
PO – I	39,94	9,00	22,9915	22,9864	0.0051	0.73	5,95E-5
PO– II	40,85	9,00	23,1373	23,1307	0.0066	0.94	7,673E-5
PO – III	41,02	9,00	23,4040	23,3958	0.0082	1.17	9,551E-5
PO– IV	40,76	9,00	23,2101	23,2042	0.0059	0.84	6,897E-5
PROMEDIO			23.1857	23.1792			7,51E-5

Realizado por: Ocampo, R. & Yunga, E. 2021

Tabla 13-3: Coeficiente de fricción máquina pin on disk.

COEFICIENTE FE FRICCION PIN ON DISK	
Probeta	Coeficiente de fricción
PO – I	0,322
PO – II	0,325
PO – III	0,326
PO – IV	0,324
Promedio	0,323

Realizado por: Ocampo, R. & Yunga, E. 2021

Cálculo del peso promedio de las probetas originales Raybestos.

$$\text{Peso prom perdido} = \text{Peso prom inicial} - \text{peso prom fina} \quad (16)$$

$$\text{Peso prom perdido} = 23,1857 - 23,1792$$

$$\text{Peso prom perdido} = 0,0065 \text{ g}$$

Volumen promedio perdido

$$\text{Volumen prom perdido} = \frac{\text{masa perdida prom}}{\text{densidad prom}} * 1000 \quad (17)$$

$$\text{Volumen prom perdido} = \frac{0,0065}{6,98}$$

$$\text{Volumen prom perdido} = 0,93 \text{ mm}^3$$

La tasa de desgaste indica la cantidad de volumen que se desgasta en función de la distancia que recorre durante el ensayo y la fuerza aplicada.

$$\text{Tasa de desgaste} = \frac{\text{Volumen perdido}}{\text{carga} * \text{distancia}} \quad (18)$$

$$\text{Tasa de desgaste} = \frac{0,93}{24,5 \text{ N} * 500 \text{ m}}$$

$$\text{Tasa de desgaste (PO)} = 0,000075 (7,5918e - 5) \frac{\text{mm}^3}{\text{Nm}}$$

Datos obtenidos en las probetas elaboradas para el ensayo Pin on Disk, se detallan a continuación:

Tabla 14-3: Datos obtenidos en las probetas elaboradas en el ensayo Pin on Disk.

Identificación	Diámetro (mm)	Espesor (mm)	Peso Inicial (g)	Peso final (g)	Peso Perdido (g)	Volumen perdido (mm ³)	Tasa de desgaste (mm ³ /nm)
PE – I	39.64	9.00	19.4530	19.4466	0.0064	1.21	9.877E-5
PE– II	39.63	9.00	19.6972	19.6917	0.0055	1.04	8.51E-5
PE – III	39.60	9.00	17.775	17.7706	0.0044	0.83	6.81E-5
PE– IV	39.10	9.00	16.9147	16.9101	0.0046	0.87	7.12E-5
PROMEDIO			18,4599	18.4547			8,10E-5

Realizado por: Ocampo, R. & Yunga, E. 2021

Tabla 15-3: Coeficiente de fricción.

COEFICIENTE FE FRICCION PIN ON DISK	
Probeta	Coeficiente de fricción
PE – I	0,284
PE – II	0,283
PE – III	0,279
PE – IV	0,281
Promedio	0,280

Realizado por: Ocampo, R. & Yunga, E. 2021

Cálculo del peso promedio de las probetas elaboradas.

$$\text{Peso prom perdido} = \text{Peso prom inicial} - \text{peso prom final} \quad (19)$$

$$\text{Peso prom perdido} = 18,4599 - 18,4547$$

$$\text{Peso prom perdido} = 0,0052 \text{ g}$$

Volumen promedio perdido.

$$\text{Volumen prom perdido} = \frac{\text{masa perdida prom}}{\text{densidad prom}} * 1000 \quad (20)$$

$$\text{Volumen prom perdido} = \frac{0,0052}{5,27}$$

$$\text{Volumen prom perdido} = 0,98 \text{ mm}^3$$

La tasa de desgaste indica la cantidad de volumen que se desgasta en función de la distancia que recorre durante el ensayo y la fuerza aplicada.

$$\text{Tasa de desgaste} = \frac{\text{Volumen perdido}}{\text{carga} * \text{distancia}} \quad (21)$$

$$\text{Tasa de desgast} = \frac{0,98}{24,5 \text{ N} * 500 \text{ m}}$$

$$\text{Tasa de desgaste (PO)} = 0,00008 \frac{\text{mm}^3}{\text{Nm}}$$

3.3 ANÁLISIS COMPARATIVO DE RESULTADOS.

Presentación de los datos obtenidos en los ensayos para su posterior análisis.

Tabla 16-3: Recolección de datos resultantes.

Ensayo de Péndulo de Charpy		
Id. Probeta	Probeta Original (PO)	Probeta Elaborada (PE)
I	0,31 J	0,15 J
II	0,30 J	0,18 J
III	0,29 J	0,15 J
IV	0,26 J	0,12 J
Promedio	0,294 J/mm²	0,152 J/mm²
Ensayo de Dureza Brinell		
I	129,8 HB	108,14 HB
II	121,6 HB	102,2 HB
III	150,8 HB	99,4 HB
IV	133,2 HB	101,8 HB
Promedio	133,85 HB	102,88 HB
Ensayo de desgaste por abrasión con arena seca		
I	3,78 g	8,25 g
II	3,06 g	5,58 g
III	1,91 g	7,24 g
IV	2,99 g	7,02 g
Promedio	2,93 g	7,02 g
Ensayo Pin on Disk		
I	0,322	0,284
II	0,325	0,283
III	0,326	0,279
IV	0,324	0,281
Promedio	0,323	0,280

Realizado por: Ocampo, R. & Yunga, E. 2021

3.4 Análisis estadístico del ensayo de Impacto Charpy

$$H_0: u_1 = u_2 \quad (22)$$

$$H_1: u_1 \neq u_2 \quad (23)$$

Nivel de significancia: $\alpha = 0.05$

En el gráfico 2-3, podemos apreciar el comportamiento de las probetas, presenciando una diferencia acorde a la capacidad de absorción de la energía en cada una de ellas, la probeta original presenta una mayor capacidad de absorción de energía respecto a la probeta elaborada.

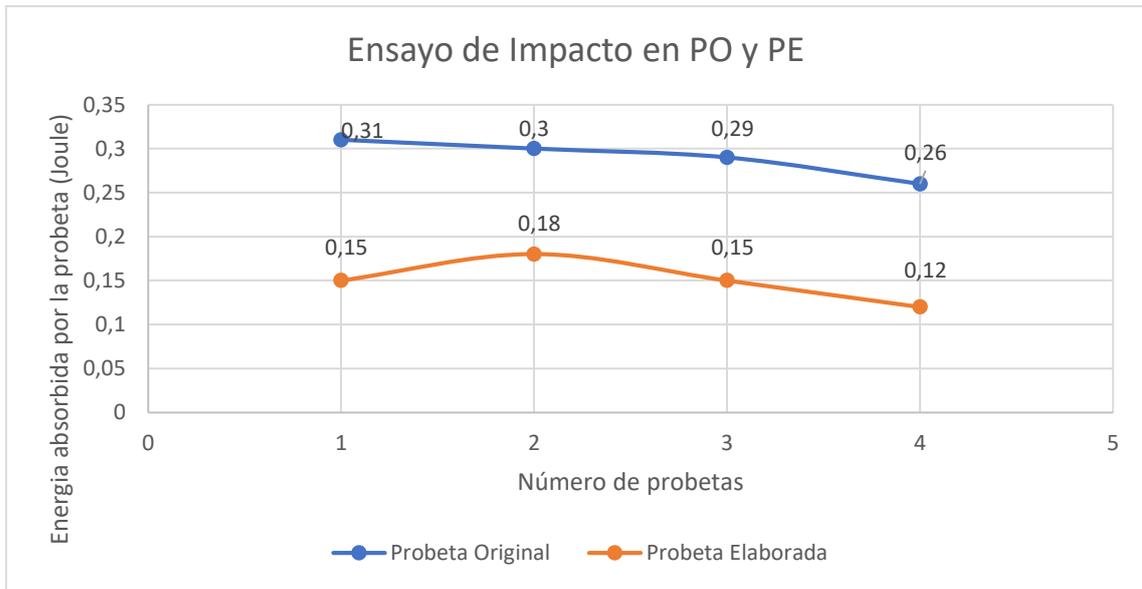


Gráfico 2-3: Comparación de energía absorbida por los tipos de probetas.

Realizado por: Ocampo, R. & Yunga, E. 2021

Análisis estadístico de los datos obtenidos en cada uno de los ensayos, presentando en la figura 26-3, la normalidad de las variables en las probetas.

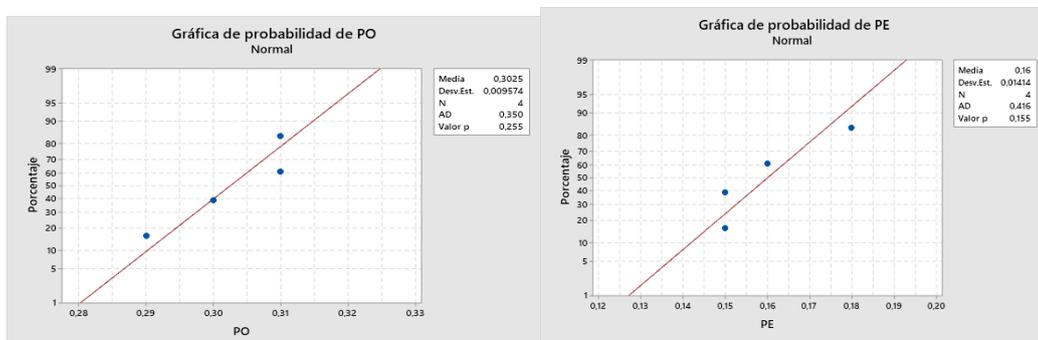


Figura 20-3: Normalidad de las variables del grupo de ensayos Charpy.

Realizado por: Ocampo, R. & Yunga, E. 2021

Tabla 17-3: Valor p de cada variable del grupo de ensayos Charpy.

Grupos	P valor	Desigualdad	Nivel de significancia: $\alpha = 0.05$
Charpy PO	0.18	\geq	0.05
Charpy PE	0.50	\geq	0.05

No rechazamos la hipótesis nula en los ensayos de charpy PO y PE, ya que el valor de p es mayor que el nivel de significancia y se deduce que no existe evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula ya que los datos de las muestras se ajustan a una distribución normal con un nivel de confianza del 95%.

Realizado por: Ocampo, R. & Yunga, E. 2021

3.4.1 Igualdad de varianzas.

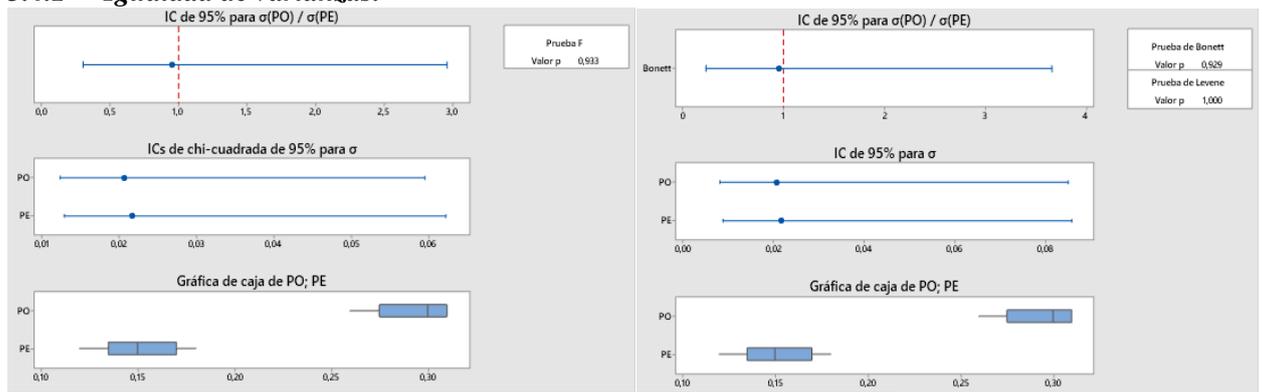


Figura 21-3: Normalidad de las variables del grupo de ensayos Charpy.

Realizado por: Ocampo, R. & Yunga, E. 2021

Tabla 18-3: Valor p de las pruebas F y de Bonett del grupo de ensayos Charpy.

Grupos	P valor	Desigualdad	Nivel de significancia: $\alpha = 0.05$
Prueba F de Charpy de $\sigma(PO)/$ σPE	0.933	\geq	0.05
Prueba Bonett de Charpy de $\sigma(PO)/$ σPE	0.929	\geq	0.05

El valor de p es mayor que el nivel de significancia y se deduce que no existe evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula, por lo tanto, las varianzas de la probeta original y probeta elaborada de los ensayos de Charpy son estadísticamente iguales con un nivel de confianza del 95%.

Realizado por: Ocampo, R. & Yunga, E. 2021

3.4.2 Comparación de la distribución t .

Tabla 19-3: Calculo de la distribución t de los ensayos de Charpy.

Valor T	
Tamaño de la muestra	8
GL	$N-2= 8-2= 6$
t_{critico}	2,31
$t_{\text{calculado}}$	10,58
Comparación	fuera del intervalo
Valor p	
Alfa	0,05
Valor p	0,00
Comparación	$0 < 0,05$

Realizado por: Ocampo, R. & Yunga, E. 2021.

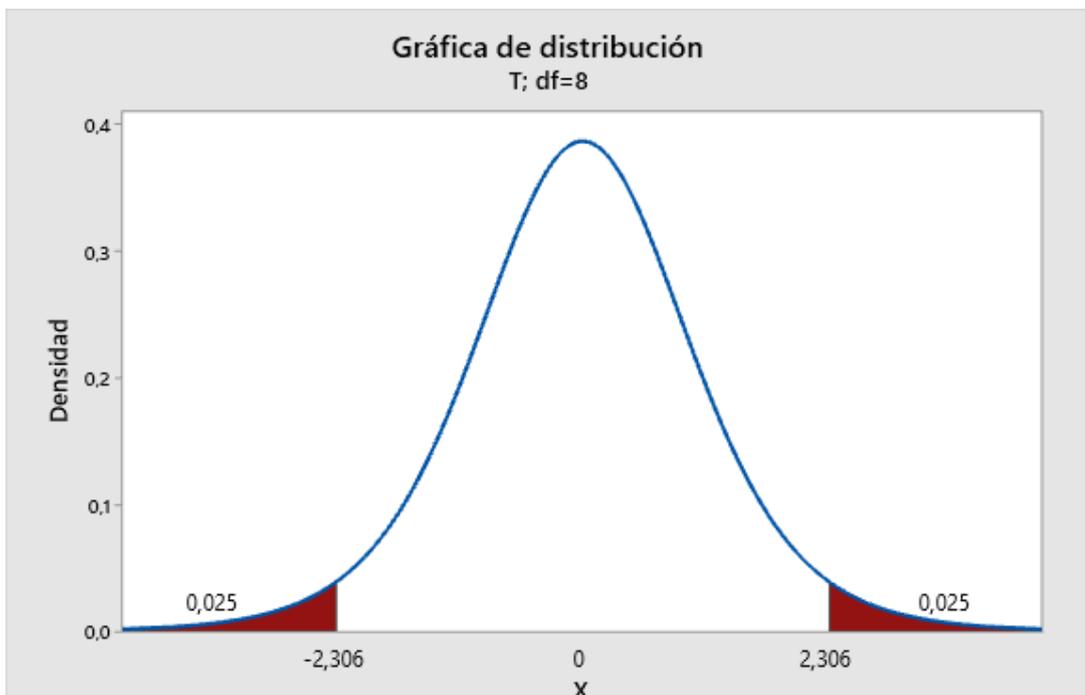


Gráfico 3-3: Distribución t de dos colas del grupo de ensayos Charpy.

Realizado por: Ocampo, R. & Yunga, E. 2021.

Toma de decisión: el valor $t_{calculado}$ se encuentra fuera de los límites de intervalos de $(-t_{critico}, +t_{critico})$ o en la zona de rechazo de la hipótesis nula, por lo que se rechaza el H_0 de que las medias de los datos son iguales.

Por lo tanto, se deduce que realizando los análisis estadísticos de la prueba de los datos del grupo de los ensayos de Charpy de las variables PO y PE, nos muestra que la probeta original es mejor que la probeta elaborada.

3.5 Ensayo de Dureza Brinell.

El gráfico 4-3, permite ver el comportamiento de cada una de las probetas al realizar el ensayo de dureza Brinell, permitiendo apreciar que presenta una mayor dureza las probetas originales Raybestos.

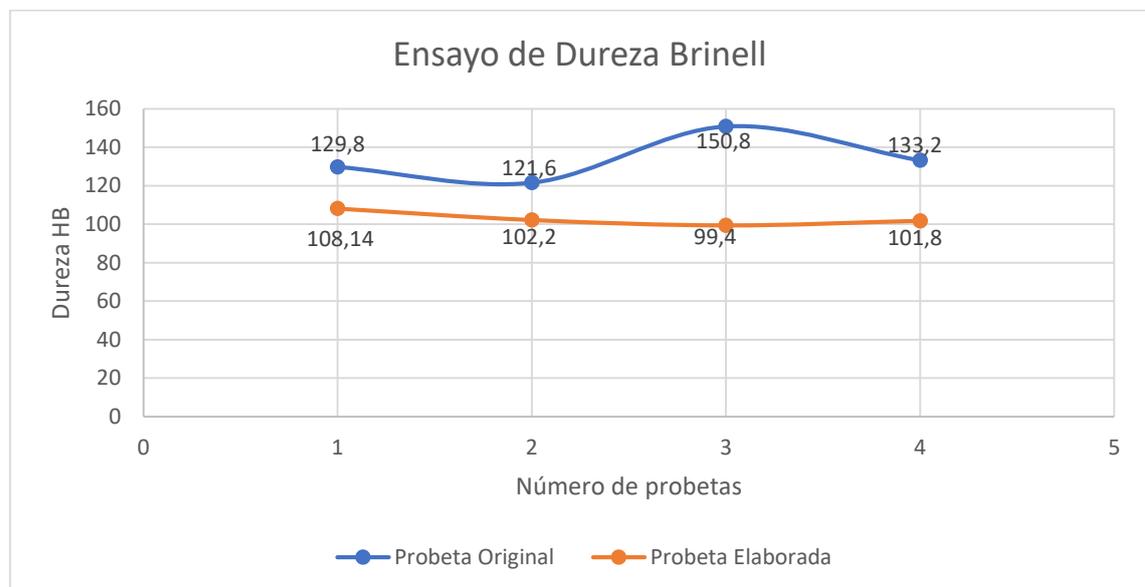


Gráfico 4-3: Curvas comparativas del ensayo Brinell.

Realizado por: Ocampo, R. & Yunga, E. 2021.

Análisis estadístico de los datos obtenidos en cada uno de los ensayos, presentando en la figura 28-3, la normalidad de las variables en las probetas.

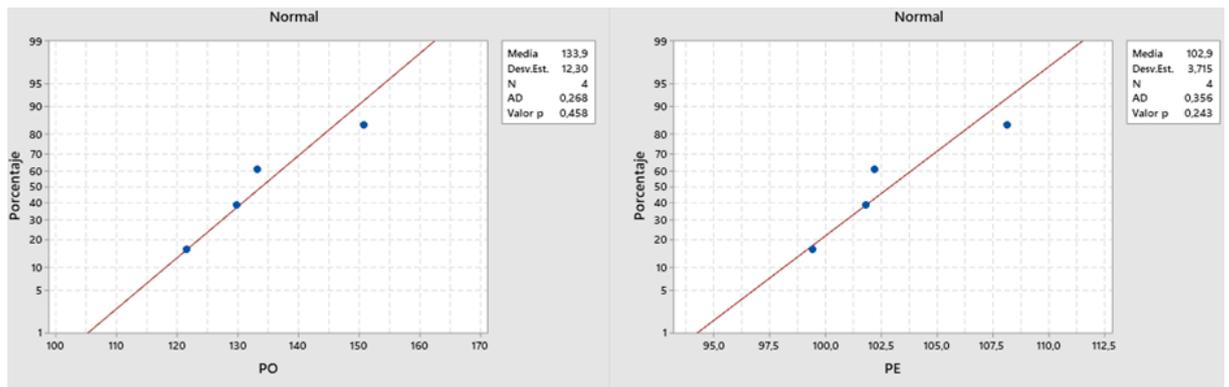


Figura 22-3: Normalidad de las variables del grupo de ensayos de Dureza Brinell de PO Y PE.

Realizado por: Ocampo, R. & Yunga, E. 2021.

Tabla 20-3: Valor p de cada variable del grupo de ensayos de dureza Brinell de PO Y PE.

Grupos	P valor	Desigualdad	Nivel de significancia: $\alpha = 0.05$
Brinell PO	0.45	\geq	0.05
Brinell PE	0.24	\geq	0.05

Se deduce que el valor p de dureza de PO y PE, son mayores que el nivel de significancia de 0.05, esto nos dice que no existe evidencia estadística para el rechazo de la hipótesis nula de los datos, estas muestras siguen una distribución normal.

Realizado por: Ocampo, R. & Yunga, E. 2021.

3.5.1 Igualdad de Varianzas.

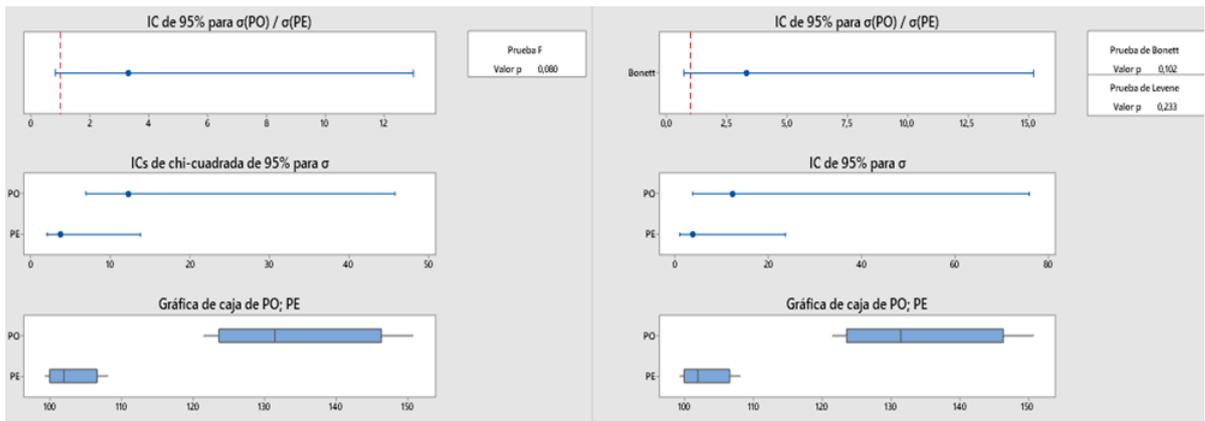


Figura 23-3: Análisis de igual de varianzas del grupo de dureza Brinell entre PO Y PE.

Realizado por: Ocampo, R. & Yunga, E. 2021.

Tabla 21-3: Valor p de las pruebas F y de Bonett del grupo de ensayos de dureza Brinell entre PO Y PE.

Grupos	P valor	Desigualdad	Nivel de significancia: $\alpha = 0.05$
Prueba F de dureza de $\sigma(PO)/\sigma PE$	0.08	\geq	0.05
Prueba Bonett de Dureza de $\sigma(PO)/\sigma PE$	0.10	\geq	0.05

Tanto como para la prueba **F** y de **Bonett** el valor p es mayor que el nivel de significancia, esto nos dice que no existe evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula por lo tanto las varianzas de la probeta original y probeta elaborado de los datos de dureza son iguales.

Realizado por: Ocampo, R. & Yunga, E. 2021.

3.5.2 Comparación de la distribución t del grupo de dureza.

Tabla 22-3: Calculo de la distribución t de los ensayos de dureza.

Valor T	
tamaño de la muestra	8
GL	$N-2= 8-2= 6$
t crítico	2,45
t calculado	4,82
Comparación	fuera del intervalo
Valor p	
Alfa	0,05
Valor p	0,003

Comparación	$0 < 0,05$
Realizado por: Ocampo, R. & Yunga, E. 2021.	

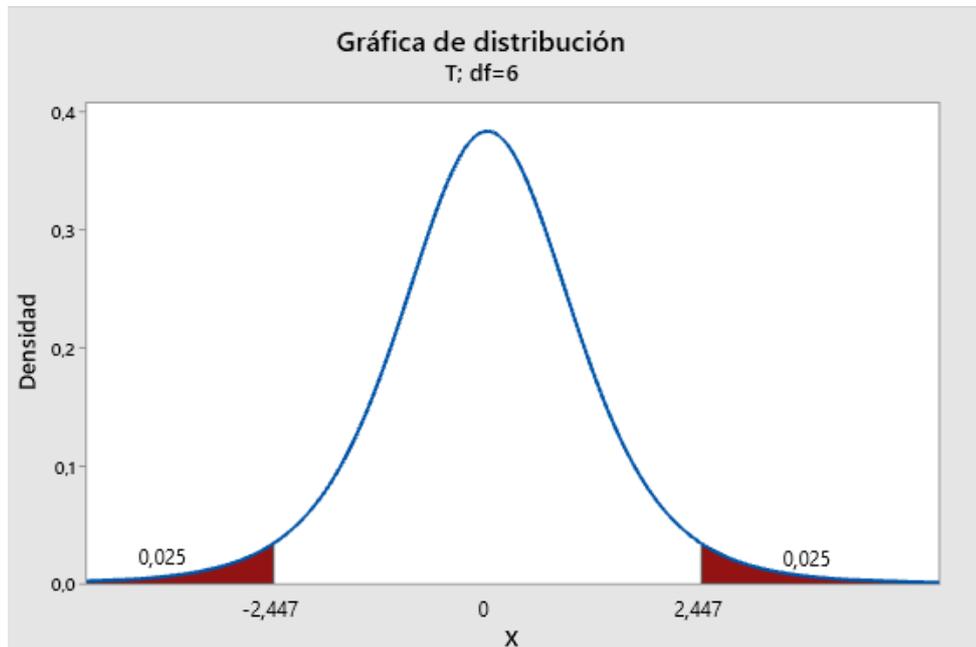


Gráfico 6-3: Distribución t de dos colas del grupo de ensayos de dureza.

Realizado por: Ocampo, R. & Yunga, E. 2021.

En la figura 30-3, permite ver el valor del $t_{calculado}$, el cual se encuentra fuera de la zona de no rechazo de la hipótesis nula porque las medias de los datos del grupo de ensayos de dureza son diferentes.

Con los resultados arrojados en el análisis anterior se deduce que entre los datos de las probetas originales y probetas elaboradas existen diferencias en cuanto a la dureza del material.

3.6 Ensayo de desgaste por abrasión con arena seca.

El gráfico 5-3, permite ver el comportamiento de cada una de las probetas al realizar el ensayo de desgaste por arena seca, permitiendo apreciar que existe un mayor desgaste en las probetas elaboradas con relación a las probetas originales.

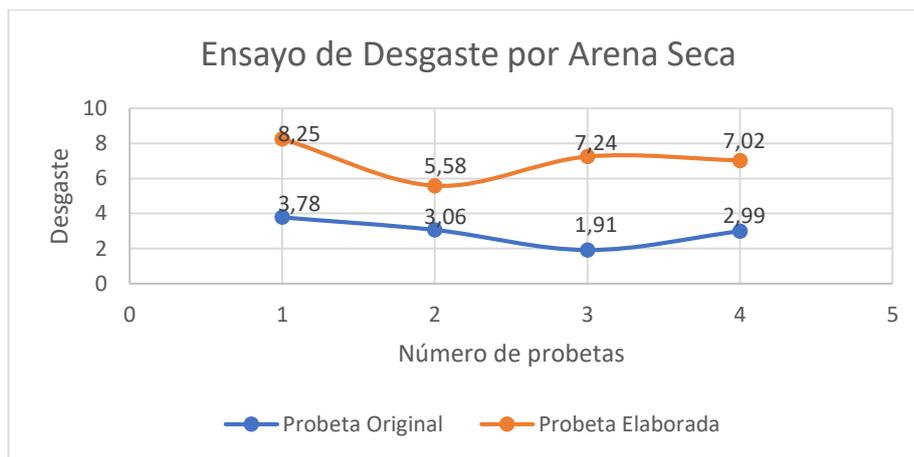


Gráfico 5-3: Curvas comparativa ensayo de arena seca.

Realizado por: Ocampo, R. & Yunga, E. 2021.

Análisis estadístico de los datos obtenidos en cada uno de los ensayos, presentados en la figura 24-3, la normalidad de las variables en las probetas.

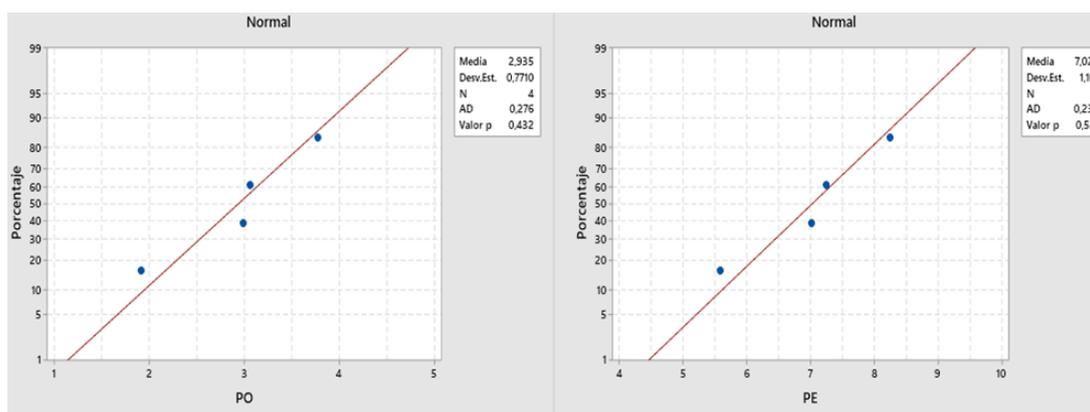


Figura 24-3: Normalidad de las variables del grupo de ensayos de desgaste PO Y PE.

Realizado por: Ocampo, R. & Yunga, E. 2021.

Tabla 23-3: Valor p de cada variable del grupo de ensayos de desgaste de PO Y PE.

Grupos	P valor	Desigualdad	Nivel de significancia: $\alpha = 0.05$
Desgaste PO	0.43	\geq	0.05
Desgaste PE	0.55	\geq	0.05

Analizando el valor p de desgaste de PO y PE, estos son mayores que el nivel de significa, por no rechazamos la hipótesis nula por lo que la muestra de probeta original y probeta elaborado se distribuyen normalmente.

Realizado por: Ocampo, R. & Yunga, E. 2021.

3.6.1 Igualdad de Varianzas.

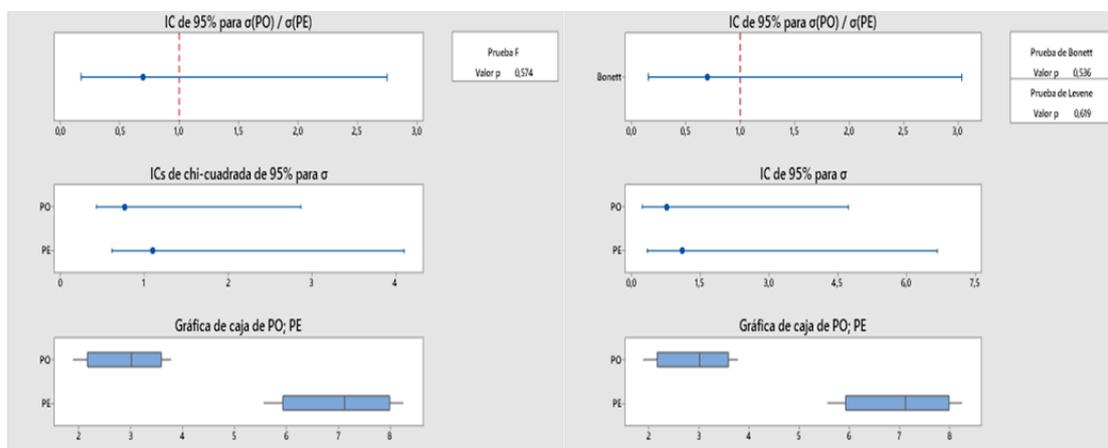


Figura 25-3: Análisis de igual de varianzas del grupo de ensayos de desgaste entre PO Y PE.

Realizado por: Ocampo, R. & Yunga, E. 2021.

Tabla 24-3: Valor p de las pruebas F y de Bonett del grupo de ensayos de desgaste entre PO Y PE.

Grupos	P valor	Desigualdad	Nivel de significancia: $\alpha = 0.05$
Prueba F de desgaste de $\sigma(PO)/\sigma PE$	0.57	\geq	0.05
Prueba Bonett de desgaste de $\sigma(PO)/\sigma PE$	0.54	\geq	0.05

Dada la prueba **F** y de **Bonett** el valor p es mayor que el nivel de significancia, no se rechazar la hipótesis nula por lo tanto las varianzas de las probetas originales y probetas elaboradas de los datos de desgaste son iguales.

Realizado por: Ocampo, R. & Yunga, E. 2021.

3.6.2 Comparación de la distribución t del grupo de desgaste.

Tabla 25-3: Calculo de la distribución t de los ensayos de desgaste.

Valor T	
tamaño de la muestra	8
GL	$N-2= 8-2= 6$
t crítico	2,45
t calculado	-6,08
comparación	fuera del intervalo
Valor p	
Alfa	0,05
Valor p	0,001
comparación	$0,001 < 0,05$

Realizado por: Ocampo, R. & Yunga, E. 2021

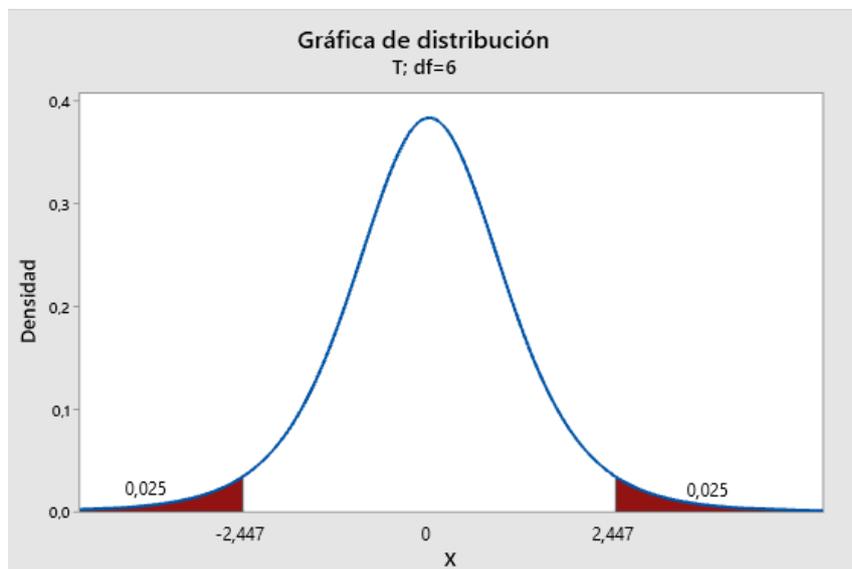


Gráfico 7-3: Distribución t de dos colas del grupo de ensayos de desgaste.

Realizado por: Ocampo, R. & Yunga, E. 2021.

En la figura 33-3, dio como resultado que el valor del $t_{calculado}$ se encuentra en la zona de rechazo de la hipótesis nula porque las medias de los datos del grupo de ensayos de desgaste son diferentes.

Con el análisis anterior se deduce que entre los datos de las probetas originales y probetas elaboradas existen diferencias en cuanto al desgaste del material.

3.7 Ensayo Pin on Disk.

El gráfico 6-3, permite ver el comportamiento de cada una de las probetas al realizar el ensayo pin on disk, permitiendo apreciar que existe un mayor coeficiente de fricción en cada una de las probetas originales con respecto al coeficiente de fricción de las probetas elaboradas.

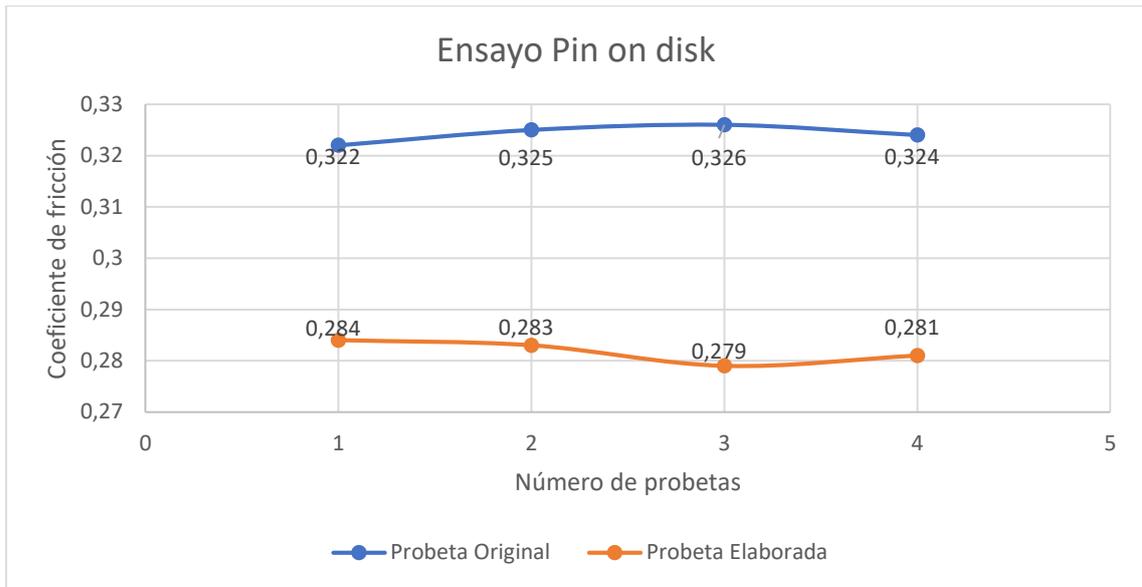


Gráfico 6-3: Curvas comparativas ensayo Pin on disk.

Realizado por: Ocampo, R. & Yunga, E. 2021.

Análisis estadístico de los datos obtenidos en cada uno de los ensayos, presentados en la figura 24-3, la normalidad de las variables en las probetas.

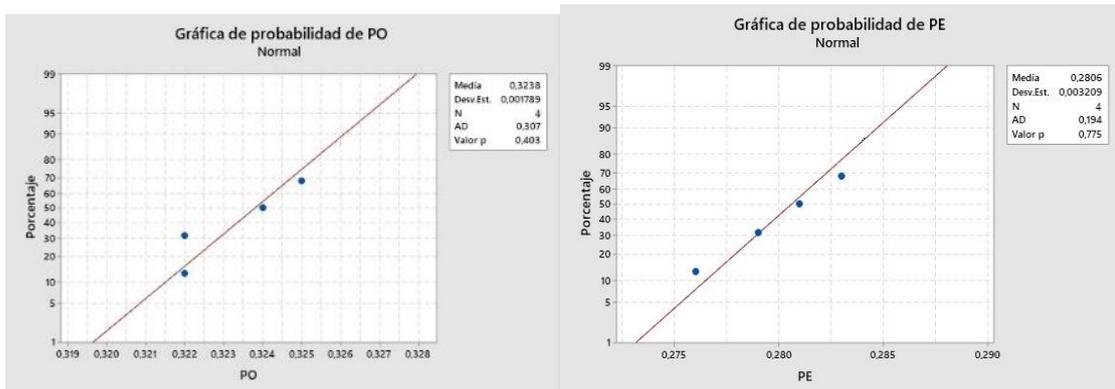


Figura 8-3: Normalidad de las variables del grupo de ensayos Pin on Disk PO Y PE.

Realizado por: Ocampo, R. & Yunga, E. 2021.

Tabla 26-3: Valor p de cada variable del grupo de ensayos Pin on Disk de PO Y PE.

Grupos	P valor	Desigualdad	Nivel de significancia: $\alpha = 0.05$
Pin on Disk PO	0.40	\geq	0.05
Pin on Disk PE	0.77	\geq	0.05

El valor p de los datos de los ensayos de Pin on Disk cuando son originales y elaborados es mayor que el nivel de significancias por lo que no ser rechaza la hipótesis nula y se deduce que una distribución normal.

Realizado por: Ocampo, R. & Yunga, E. 2021

3.7.1 Igualdad de Varianzas

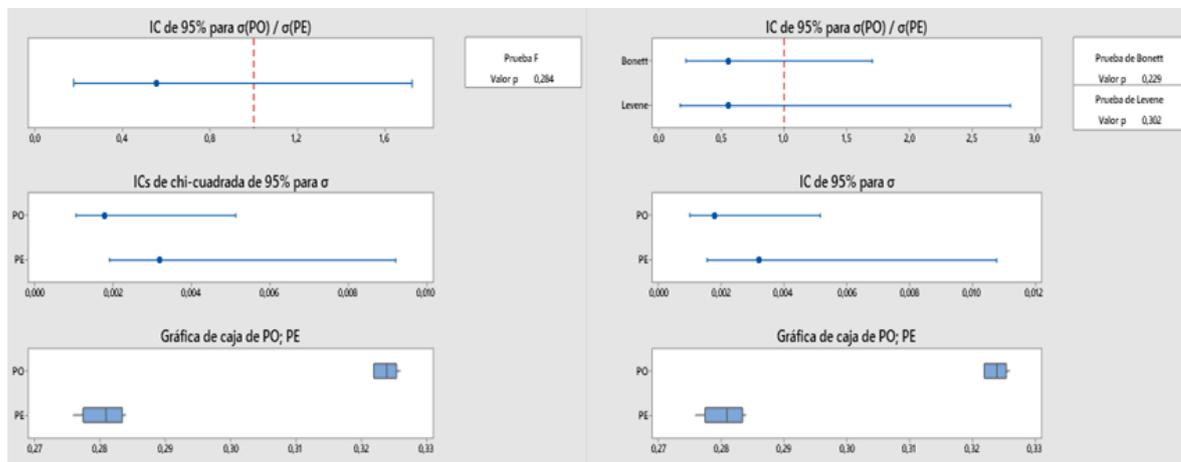


Figura 9-3: Análisis de igual de varianzas del grupo de ensayos de desgaste entre PO Y PE.

Realizado por: Ocampo, R. & Yunga, E. 2021.

Tabla 27-3: Valor p de las pruebas F y de Bonett del grupo de ensayos de Pin on Disk entre PO Y PE

Grupos	P valor	Desigualdad	Nivel de significancia: $\alpha = 0.05$
Prueba F de Pin on Disk de $\sigma(PO)/\sigma PE$	0.28	\geq	0.05
Prueba Bonett de Pin on Disk de $\sigma(PO)/\sigma PE$	0.23	\geq	0.05

Dada la prueba **F** y de **Bonett** el valor p es mayor que el nivel de significancia, no se rechaza la hipótesis nula por lo tanto las varianzas de las probetas originales y probetas elaboradas de los datos de ensayos Pin on Disk son iguales.

Realizado por: Ocampo, R. & Yunga, E. 2021.

3.7.2 Comparación de la distribución t del grupo de desgaste

Tabla 28-3: Cálculo de la distribución t de los ensayos Pin on Disk

Valor T	
tamaño de la muestra	8
GL	$N-2= 8-2= 6$
t crítico	2,31
t calculado	20,44

comparación	fuera del intervalo
Valor p	
Alfa	0,05
Valor p	0,000
comparación	$0,000 < 0,05$

Realizado por: Ocampo, R. & Yunga, E. 2021.

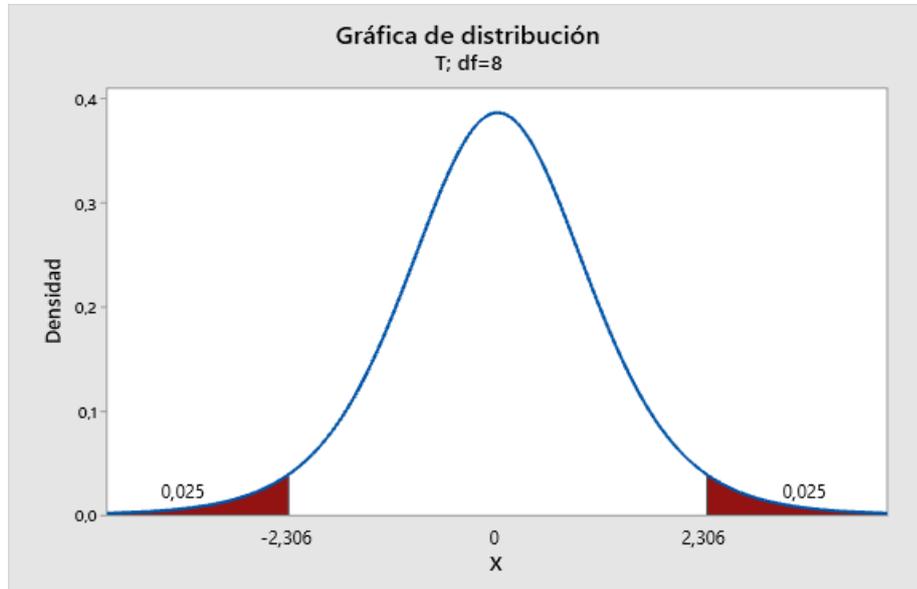


Gráfico 10-3: Distribución t de dos colas del grupo de ensayos de desgaste.

Realizado por: Ocampo, R. & Yunga, E. 2021.

En la tabla 29-3, dio un $t_{calculado}$ de 26,29 que se encuentra en la zona de rechazo de la hipótesis nula por lo que las medias de los datos del grupo de ensayos Pin on Disk son diferentes.

Con el análisis anterior se deduce que entre los datos de las probetas originales y probetas elaboradas existen diferencias en cuanto al ensayo Pin on Disk del material utilizado.

CONCLUSIONES.

- La dureza resultante en la probeta original es mayor debido a su proceso de fabricación, en una de sus etapas como es el escorchado se tiene una temperatura de 650 °C, con una presión de 1 Ton sobre la pastilla de freno permitiendo eliminar el "fadding" que se puede presentar al instalarse por primera vez; eliminando de esta manera las partes orgánicas de la superficie de contacto de la pastilla de freno.
- Los valores obtenidos en los dos tipos de probetas mediante el ensayo pin on disk muestran que el coeficiente de fricción registrado por la máquina es de 0,28 en las probetas elaboradas dicho coeficiente está muy cercano al límite inferior y de 0,32 en las probetas originales dicho valor muy cercano al límite máximo; dichos valores permiten establecer que estas probetas obtienen la designación de material de fricción EF, con coeficientes de fricción normal de 0,25 a 0,35.

En el caso de las probetas originales se aprecia un valor de 2,93 gr y en las probetas elaboradas un valor de 7,02 gr, lo que significa que será mayor el desgaste en las probetas elaboradas inclusive llegando a fracturarse las mismas; lo que significa que la dureza, microestructura, proceso de fabricación, aglutinante empelado no permite que la unión de los materiales sea tan resistente como es el caso de las probetas originales.

- El carbono conjuntamente con el aglutinante termoestable epóxico se convierte en tejidos resistentes a esfuerzos mecánicos, con lo cual mejoraría la fusión de los elementos, al incrementar el porcentaje de 28.3% de carbono se incrementaría la dureza de la probeta elaborada ya que este elemento va a estar sujeto a altas temperaturas mecánicas.
- Incrementar el porcentaje de elementos metálicos hasta un 40%, especialmente el Aluminio debido a su fácil aleación con otros elementos como el titanio, zinc, cobre permitirá generar un reforzamiento en la superficie de la probeta con lo cual reduciría el desgaste mediante el ensayo de arena seca, en el cual se aprecia un valor alto de desgaste volumétrico.

RECOMENDACIONES

- Tomar en cuenta la importancia que tiene realizar ensayos que permitan conocer más detalladamente como está actuando el material ante dicha situación que establece la norma correspondiente, la impregnación de aglutinante con características superiores que permite la mejor unión de los elementos que confirman la probeta de pastilla de freno.
- Considerar para la obtención de datos referenciales que sea de autopartes comercializadas en el mercado nacional ya que permitirá tener resultados reales, con los cuales comparar al momento de realizar los ensayos en las probetas elaboradas para su estudio comparativo.
- Al realizar las primeras pruebas de fabricación de las probetas no se consiguió una compactación precisa por lo que se determinó mediante investigación el uso de poliaminoamida como endurecedor de resinas obteniendo mejores resultados de compactación.
- Al fabricar las probetas cerámicas tomar en cuenta el uso de implementos de seguridad, la cantidad precisa de cada elemento, así como el manejo adecuado especialmente con activos químicos que se utilizan para preparar la homogenización de la mezcla, el correcto control de la temperatura de la mufla permite mantener el calor necesario en el proceso de curado.
- Se recomienda el uso o implementación de fibras orgánicas o sustituibles como la fibra de cabuya, cascara de palma, cascara de maíz, que podrían presentar resultados diferentes a los obtenidos en este estudio.
- Sustituir la resina fenólica utilizada en esta elaboración de probetas cerámicas por aglutinante termoestable epóxico con lo cual se podría lograr un mayor grado de dureza de las probetas a ensayar.

GLOSARIO

Cerámicos: Los materiales cerámicos son compuestos químicos o soluciones complejas que contienen elementos metálicos y no metálicos, debido a su enlace covalente o iónico tienen un alto punto de fusión, baja conductividad eléctrica y térmica, buena estabilidad química, térmica y elevada resistencia a la compresión. (Callister, 2008)

Durómetro: El durómetro es un dispositivo diseñado para medir la propiedad de dureza de distintos materiales como: metales, cauchos, plásticos, elastómetros, entre otros. (AEISA, 2019)

Dureza: La dureza es definida como la resistencia a la penetración bajo una carga estática o dinámica del material. Esto después de haber realizado a la pieza varias pruebas, por lo general, una buena dureza se presentará cuando el material sea resistente a rayaduras y al desgaste por el uso. (AEISA, 2019)

Grafica de probabilidad: Es un procedimiento que permite determinar en forma visual si los datos muestrales se ajustan a una distribución específica, siendo un gráfico X-Y cuyas escalas son determinadas por la distribución elegida. (Gutierrez Pulido, y otros, 2009)

Hipótesis estadística: Es una afirmación sobre los valores de los parámetros de una población o proceso, la cual es susceptible de probarse a partir de la información contenida en una muestra representativa que se obtiene de la población. (Gutierrez Pulido, y otros, 2009)

Hipótesis bilateral: Es cuando la hipótesis alternativa es de tipo “no es igual”, e incluye a los casos mayor que y menor que el valor que afirma H_0 . (Gutierrez Pulido, y otros, 2009)

Significancia calculada: Es el área bajo la distribución de referencia más allá del valor del estadístico de prueba. (Gutierrez Pulido, y otros, 2009)

Muestra representativa: Parte de una población, seleccionada de manera adecuada, que conserva las características más importantes de dicha población. (Gutierrez Pulido, y otros, 2009)

Significancia calculada (valor – p): Es el área bajo la distribución de referencia más allá del valor del estadístico de prueba. (Gutierrez Pulido, y otros, 2009)

BIBLIOGRAFÍA

AD, M, Y OTROS. *A review paper on abrasive wear characteristics & tribological behavior of graphite ..* 2016, International journal of engineering trends and aplicaciones, pág. 27.

AEISA. asesoria y equipos de inspeccion sa de cv. [Blog], [Consulta: 01 de Enero de 2020]. Disponible en:<https://www.aeisa.com.mx/durometro-que-es-tipos-y-aplicaciones/>.

AUTONOCIÓN. Autonoción.com. [Blog] [Consulta: 25 de Febrero de 2020]. Disponible en: <https://www.autonocion.com/frenos-disco-tambor-componentes-tipos-funcionamiento/>.

BOSCH. Catálogo de pastillas de freno 2016 | 2017. *boschautopartes.com*. [En línea]. [Consulta: 01 de Enero de 2016]. Disponible en: http://www.boschautopartes.com/media/la/aa_sites_la/products_and_services/automotive_parts/brakes_2/download_4/LORES_PDF_70246.pdf.

BRAKE, HIGH POWER. *Manual técnico y de recomendaciones*. [En línea]. [Consulta: 27 de Enero de 2021]. Disponible en: https://www.highpowerbrake.com.ec/downloads/manual_tecnico_y_de_recomendaciones_high_power_brake.pdf.

BROSTOW, W., DEBORDE, J.-L. Y JAKLEWICZ., M. *TRIBOLOGIA CON ÉNFASIS EN POLÍMEROS: FRICCIÓN, RESISTENCIA AL RAYADO Y AL DESGASTE*. Toluca, Mexico : Journal of Materials Education, 2003. Vol. 25, número 4-6,

CALLISTER, WILLIAM. Trabajo práctico de estudio y ensayo de materiales. [wordpress]. [Consulta: 01 de Noviembre de 2020]. Disponible en: <https://estudiyensayo.files.wordpress.com/2008/11/ceramicos.pdf>.

CEAC, GRUPO EDITORIAL. *Manual CEAC del Automovil*. Barcelona, España : Grupo Editorial Ceac, S.A, 2003.

COLOMBIA, UNIVERSIDAD NACIONAL. Universidad Nacional de Colombia. *Unimedios*. [En línea] 26 de 01 de 2010. <https://agenciadenoticias.unal.edu.co/detalle/article/laboratorio-de-tribologia-innovacion-para-la-industria.html>.

COLUMBIÉ, TOMÁS FERNÁNDEZ. *ResearchGate*. [En línea]. [Consulta: 01 de Enero de 2021]. Disponible en: https://www.researchgate.net/figure/Figura-11-Mecanismo-de-friccion-por-adhesion-durante-el-deslizamiento-de-dos_fig1_264040856.

CULTURAL, S. A. *MANUAL PRÁCTICO DEL AUTOMÓVIL REPARACIÓN, MANTENIMIENTO y PRÁCTICAS.* MADRID - ESPAÑA : Poligono Industrial Arroyomolinos, 2000.

RUIZ, SAUL ESPINOZA. *Diseño Mécanico eléctrico de un tribómetro para nsayos de resistencia al desgaste abrasivo en pastillas de freno tipo disco según la norma ASTM G65.* 2017, Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, pág. 25.

CALERO, F Y CARRERA, D. *Diseño y construcción de una máquina para ensayos en desgaste abrasivo según norma técnica ASTM G65 / COGUANOR 41087 h2..* Riobamba : s.n., 2015, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, pág. 13.

ESTRELLA ZAMBRANO, HUGO BENJAMIN. *Diseño y análisis del comportamiento termo-mecánico con el modelamiento de un sistema de frenos ABS para las pastillas de un material alternativo con matriz cerámica.* [En línea]. [Consulta: 27 de Enero de 2021]. Disponible en: http://192.188.51.77/bitstream/123456789/14656/1/68698_1.pdf.

GACHOKI, J. J., & KATHENYA, D. M. *Desing of brakepad friction material.* Nairobi : University of Nairobi, 2011.

GARCÍA LEÓN, RICARDO ANDRÉS. *Estudio térmico en tres frenos de disco ventilados, utilizando el análisis de elementos finitos.* 2016.

GHARAGOZLOU, Y. Instron. *ASTM E23 Ensayo de Impacto Charpy de muestras pequeñas - Instron.* [En línea]. [Conuslta: 19 de Noviembre de 2020]. Disponible en: <https://www.instron.com.ar/Testing%20Solutions/By%20Material/Metals/Impact/ASTM%E23%20%20Sub%20Size>.

GOODYEAR. *GOKILÓMETROSQUECUENTAS.* [Blog]. [Consulta: 26 de Septiembre de 2020]. Disponible en: <https://kilometrosquecuentan.com/cambiar-pastillas-freno/>.

GUTIERREZ PULIDO, HUMBERTO Y DE LA VARA SALAZAR, ROMAN. *CONTROL ESTADÍSTICO DE CALIDAD Y SEIS SIGMA.* Mexico : McGRAW-HILL/INTER AMERICANA EDITOR ES, S.A. DE C.V., 2009.

HARA, HASUHIRO. *NON-ASBESTOS DISC BRAKE PAD FOR. 6,220.404 B1 USA,* 24 de 04 de 2001.

INGEMECANICA.. *Ensayo de dureza en los materiales.* [En línea]. [Consulta: 18 de Enero de 2021]. Disponible en: <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn218.html>.

INGEMECÁNICA. *Ingeniería, Consultoría y Formación. ingemecánica.* [En línea]. [Consulta: 17 de Mayo de 2021]. Disponible en: <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn74.html>.

JUNI, J. A. Y URBANO, C. A. *Técnicas para investigar Volumen 2. Recursos metodológicos para la preparación de proyectos de investigación.* [En línea]. [Consulta: 17 de Junio de 2014]. Disponible en: <http://abacoenred.com/wp-content/uploads/2016/01/T%C3%A9cnicas-para-investigar-2-Brujas-2014-pdf.pdf>.

MARTÍNEZ, AUTOS. *Las pastillas de freno, un elemento clave en la seguridad del vehículo.* 28 de Diciembre de 2016, Página 66.

LIND, D.A, MARCHAL, W.G Y WATHEN, S.A. *Estadística aplicada a los negocios y la economía decimoquinta edición.* Mexico : McGraw-Hill, 2012.

LOPEZ, DAVID. *Highmotor.* [En línea]. [Consulta: 9 de Enero de 2021]. Disponible en: <https://www.highmotor.com/tipos-pastillas-freno-mercado.html>.

LUQUE, C. *Tipos y características de las pastillas de frenos. Montilla Abierta.* [En línea]. [Consulta: 15 de Junio de 2020]. Disponible en: [http://montillabierta.es/14157-2/..](http://montillabierta.es/14157-2/)

MARTINENKO, V, Y OTROS. *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]. [Consulta: 25 de Agosto de 2020]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/280085064_Diseño_y_construcción_de_una_máquina_pin_on_disk_para_la_determinación_de_coeficientes_de_fricción_y_un_ejemplo_de_aplicación?_esc=publicationCoverPdf&el=1_x_3&enrichId=rgreq-fb05201077b03b43b3dd088c405b36.

MARTINEZ MEDIANO, C Y GALÁN GONZALES, A. *TECNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOGIDA Y ANALISIS DE DATOS.* Madrid : UNIVERSIDAD NACIONAL DE EDUCACION A DISTANCIA, 2104.

INGENIERIA DE MATERIALES. *Ensayo de dureza en recalce de zapatas.* [En línea]. [Consulta: 15 de Julio de 2020]. Disponible en: <https://emaze.me/eduvi#untitled>.

MOTOTALLER. *pasion por la moto.* [Blog]. [Consulta: 08 de Junio de 2020]. Disponible en: <https://www.mototaller.info/pastillas-organicas-y-sinterizadas-100-europeas-bendix-de-la-mano-de-vicma/>.

MOUNTAIKBIKE.. *brujulabike.* [Blog]. [Consulta: 14 de Octubre de 2019]. Disponible en: <https://www.brujulabike.com/pastillas-frenos-de-disco-organicas-metalicas-sinterizadas/>.

MUSCOPLAT, RICK. *Rick's Free Auto Repair Advice*. [Blog]. [Consulta: 17 de Mayo de 2020]. Disponible en: <https://ricksfreeautorepairadvice.com/brake-pad-slots/>.

PARISI FERNANDÉZ, A A Y ASENCIO VILCHES, EDUARDO IGNACIO. Revista Chilena de Economía y Sociedad. *Inteligencia artificial en las finanzas: el factor conciencia en la predicción de la acción TSLA*. [En línea]. [Consulta: 29 de Octubre e 2020]. <https://rches.utem.cl/articulos/inteligencia-artificial-en-las-finanzas-el-factor-conciencia-en-la-prediccion-de-la-accion-tsla/>.

PFC BRAKES. pfcbrakes. [En línea]. [Consulta: 08 de Septiembre de 2020]. Disponible en: http://www.ebsautomotiveequipment.com/images/ebs_pdfs/20120921DLM_DemystifyingFriction_PFCLetterhead2.pdf.

SALAZAR, VERONICA BUSTAMANTE. *DETERMINACIÓN DE LA TENACIDAD A LA FRACTURA POR MEDIO DEL ENSAYO CHARPY INSTRUMENTADO EN UN ACERO A283 GRADO C ENVEJECIDO EN UN AMBIENTE DE HIDRÓGENO*. [En línea]. [Consulta: 31 de Octubre de 2020]. Disponible en: <https://docplayer.es/39777950-Determinacion-de-la-tenacidad-a-la-fractura-por-medio-del-ensayo-charpy-instrumentado-en-un-acero-a283-grado-c-envejecido-en-un-ambiente-de-hidrogeno.html>.

SARDAR, S, SANTANU, K Y DEBDULAL, D. *High stress abrasive wear characteristics of Al 7075/Al203 composite*. 2018, Measurement 2, pág. 2.

TAMAYO, L., B. Ecuador Documents. *Manual Técnico de la Pastilla de Freno*. [En línea]. [Consulta: 23 de Julio de 2021]. Disponible en: <https://fdocuments.ec/document/manual-tecnico-pastillas-freno.html>.

VELASTEGUÍ, ANDRÉS. *Los Materiales de Fricción y su Influencia en la Eficiencia de Frenado*. Quito, Pichincha, Ecuador : s.n., Mayo de 2015.

Vasmi, K, R, S y ANTHONY, X. *Wear Behavior of Aluminium 60617Sic/Gr/Metal Matrix Composites*. 2014, International Journal of Scientific Research, pág. 148.

ZAMBRANO, SANTOS Y PONCE, VILAÑES. *Analisis del desgaste de pastillas de freno en comparativa entre 2500 metros de altura a nivel del mar*. 2018, UIDE, pág. 16.

ANEXOS

ANEXO A



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



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

ENSAYO DE DUREZA BRINELL

JUNIO DE 2021

AMBATO-ECUADOR

CTT-2021-104

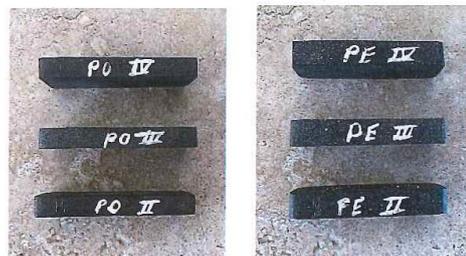

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CENTRO DE TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍAS


ENSAYO DE DUREZA
DATOS INFORMATIVOS

Tipo de estudio:	De laboratorio	Norma:	INEN-123: Ensayo de Dureza Brinell
Identificación del componente de estudio:	Pastillas de freno cerámicos		
Solicitado por:	Robinson Stalin Ocampo Visuma Edwin Paul Yunga Toaquiza	Fecha:	25/06/2021
Centro de Estudio y Análisis:	Laboratorio de Metalografía - FICM		

PARÁMETROS

Equipo:	Lyrics: Brinell, Rockwell, Vickers hardness tester		Modelo:	HBRV-187.5
	Temperatura Ambiente:	Dureza:	Iluminación:	Orden:
	18.0 ° C	BRINELL	Luz Natural	CTT-2021-104
		Identador: 2,5mm		
Carga: 187.5 kgf				

PROBETAS A ENSAYAR:


RESULTADOS PROBETAS "PO":

Probeta PO I			
Número de medición	Diámetro medido (mm)	Diámetro de indentación	Dureza HBW
1	6.8	2.72	119
2	6.5	2.6	131
3	6.7	2.68	123
4	6.57	2.628	128
5	6.15	2.46	148
POMEDIO	6.544	2.6176	129.8

Probeta PO II			
Número de medición	Diámetro medido (mm)	Diámetro de indentación	Dureza HBW
1	6.5	2.6	131
2	6.54	2.616	129
3	6.61	2.644	126
4	7.25	2.9	103
5	6.81	2.724	119
POMEDIO	6.742	2.6968	121.6

Probeta PO III			
Número de medición	Diámetro medido (mm)	Diámetro de indentación	Dureza HBW
1	6.4	2.56	135
2	5.71	2.284	173
3	5.62	2.248	179
4	6.32	2.528	140
5	6.61	2.644	127
POMEDIO	6.132	2.4528	150.8

Probeta PO IV			
Número de medición	Diámetro medido (mm)	Diámetro de indentación	Dureza HBW
1	6.48	2.592	132
2	6.24	2.496	143
3	6.51	2.604	130
4	6.59	2.636	127
5	6.44	2.576	134
POMEDIO	6.452	2.5808	133.2

RESULTADOS PROBETAS "PE":

Probeta PE I			
Número de medición	Diámetro medido (mm)	Diámetro de indentación	Dureza HBW
1	7.19	2.876	105
2	6.89	2.756	115
3	7.43	2.972	97.7
4	7.07	2.828	109
5	6.91	2.764	114
POMEDIO	7.098	2.8392	108.14

Probeta PE II			
Número de medición	Diámetro medido (mm)	Diámetro de indentación	Dureza HBW
1	7.12	2.848	107
2	7.32	2.928	101
3	7.33	2.932	101
4	7.22	2.888	104
5	7.41	2.964	98
POMEDIO	7.28	2.912	102.2

Probeta PE III			
Número de medición	Diámetro medido (mm)	Diámetro de indentación	Dureza HBW
1	7.39	2.956	98.8
2	7.22	2.888	104
3	7.385	2.954	98.8
4	7.39	2.956	98.8
5	7.47	2.988	96.6
POMEDIO	7.371	2.9484	99.4

Probeta PE IV			
Número de medición	Diámetro medido (mm)	Diámetro de indentación	Dureza HBW
1	7.22	2.888	104
2	7.34	2.936	100
3	7.25	2.9	103
4	7.32	2.928	101
5	7.3	2.92	101
POMEDIO	7.286	2.9144	101.8

CONCLUSIONES:

- Se tomó 5 medidas por cada probeta de un total de 8 de material cerámico usado para pastillas de freno, obteniendo los siguientes promedios de dureza:
- En la probeta PO 1, la medida de dureza promedio resultante es de 129,8 HB 2,5/187,5/30.
- En la probeta PO 2, la medida de dureza promedio resultante es de 121,6 HB 2,5/187,5/30.
- En la probeta PO 3, la medida de dureza promedio resultante es de 150,8 HB 2,5/187,5/30.
- En la probeta PO 4, la medida de dureza promedio resultante es de 133,2 HB 2,5/187,5/30.
- En la probeta PE 1, la medida de dureza promedio resultante es de 108,1 HB 2,5/187,5/30.
- En la probeta PE 2, la medida de dureza promedio resultante es de 102,2 HB 2,5/187,5/30.
- En la probeta PE 3, la medida de dureza promedio resultante es de 99,4 HB 2,5/187,5/30.
- En la probeta E3 4, la medida de dureza promedio resultante es de 101,8 HB 2,5/187,5/30.



REALIZADO POR
Egdo. Christian Sánchez L.
LABORATORIO DE MATERIALES

SUPERVISADO POR
Ing. Sebastián Villegas S.
TÉCNICO DE LABORATORIO

ANEXO B



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



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

ENSAYO PIN ON DISK

JUNIO DE 2021

AMBATO-ECUADOR

INFORME TÉCNICO

CTT-2021-104

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.

Procesos bajo norma ASTM G – 99.

ANTECEDENTES:

Con fecha 25 de junio de 2021, los Señores, Robinson Stalin Ocampo Visuma y Edwin Paul Yunga Toaquiza, egresados de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo domiciliados en la ciudad de Riobamba - Chimborazo, solicita al Centro de Transferencia y Tecnología de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, realizar ensayos de laboratorio para medir el desgaste mediante máquina pin on disk.

Se reciben 8 muestras o probetas, en 2 grupos de 4 probetas, bajo las designaciones:

- PO-I
- PO-II
- PO-III
- PO-IV
- PE-I
- PE-II
- PE-III
- PE-IV

Se realizó el ensayo las probetas en forma de disco con superficie lisa para estimar la variación en peso para cada una.

PROBETAS PARA ENSAYO PIN ON DISK MATERIAL CERÁMICO	
<p>PE - 01</p> 	<p>PE - 02</p> 
<p>PE - 03</p> 	<p>PE - 04</p> 
PROBETAS PARA ENSAYO PIN ON DISK COMERCIAL	
<p>PO - 01</p> 	<p>PO - 02</p> 
<p>PO - 03</p> 	<p>PO - 04</p> 

PROCESO GENERAL:

- Realizar la medición y peso de las probetas a ensayar



Geometría	Diámetro de la Probeta mm	Peso de Probeta gr
PE 01	39.64	19.4530
PE 02	39.63	19.6972
PE 03	39.60	17.775
PE 04	39.10	16.9147
PO 01	39.94	22.9915
PO 02	40.85	23.1373
PO 03	41.02	23.4040
PO 04	40.76	23.2101

- Encender la máquina con la ayuda de la botonera ON/OFF



- Con la llave se desajusta el mandril para colocar el pin para el ensay y ajustar (nota: el mandril acoge pines de 2mm a 10mm este rango es considerado bajo la norma ASTM G-99)



- Retiramos el seguro del disco y colocamos el disco de ensayo y se asegura con una llave de 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).
- Digitar el radio en la pantalla según el diámetro del disco.



- Procedemos a digitar la distancia de recorrido a la cual vamos a realizar en desgaste en el teclado.



CONDICIONES DE ENSAYO

Velocidad	Fuerza aplicada	Distancia recorrida	Radio de ensayo
560 rpm	24.5 N	500 m	16

Calibración del equipo

- Dependiendo del diámetro del disco que se va a ensayar, anticipadamente hay que calibrar el brazo del 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 en 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:	25/06/2021	Ciudad:	Ambato		
Lugar:	Laboratorios de Materiales			Campus Huachi	
Equipo:	Maquina Pin on Disk				
Realizado por:	Katherine Molina				
Supervisado por:	Ing. Sebastian Villegas				
Tipo de material:	Material cerámico de pastillas de freno	Orden:		CTT-2021-104	
PIN					
Material del pin (estático)	Fundición gris nodular de grafito laminar				
Forma de pin (mm)	Esférica				
Diámetro del pin (mm)	6 mm				
PARÁMETROS DE ENSAYO					
Tipo de Medición:	Pesos	Norma:	ASTM G - 99		
Dimensiones (mm):	59.70 x 15 mm 114.5 x 19 mm	Nº de probetas:	8		
					
Probetas de pastillas de freno comerciales					
CODIFICACIÓN (%fibra)	Diámetro	Peso inicial (Po) gr	Peso final (Pf) gr	ΔP (Po-Pf) gr	Radio de ensayo
PO-01	39.94	22.9915	22.9864	0.0051	16
PO-02	40.85	23.1373	23.1307	0.0066	16
PO-03	41.02	23.4040	23.3958	0.0082	16
PO-04	40.76	23.2101	23.2042	0.0059	16
Probetas de pastillas de freno de material compuesto					
PE-01	39.64	19.4530	19.4466	0.0064	16
PE-02	39.63	19.6972	19.6917	0.0055	16
PE-03	39.60	17.775	17.7706	0.0044	16
PE-04	39.10	16.9147	16.9101	0.0046	16



Realizado electrónicamente por:
KATHERINE
VICTORIA MOLINA
CABRERA

REALIZADO POR:

Egda. Katherine Molina C.

LABORATORIO DE MATERIALES



Realizado electrónicamente por:
EDMONDO SEBASTIAN
VILLEGAS SUAREZ

SUPERVISADO POR

Ing. Sebastián Villegas S.

TÉCNICO DE LABORATORIO