



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE MECÁNICA**

**CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRÍZ**

**“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE DESGASTE DE LAS  
PASTILLAS DE FRENO A PARTIR PRUEBAS  
EXPERIMENTALES MEDIANTE LA NORMA NTE INEN 2  
185:2010”**

**Trabajo de Integración curricular**

Tipo: Proyecto de investigación

Presentado para optar el grado académico de:

**INGENIERO AUTOMOTRÍZ**

**AUTORES:**

DANIEL VINICIO GUANOLUIZA CAZCO

JONATHAN CHRISTIAN MOROCHO MOROCHO

Riobamba – Ecuador

2021



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE MECÁNICA**

**CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRÍZ**

**“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE DESGASTE DE LAS  
PASTILLAS DE FRENO A PARTIR PRUEBAS  
EXPERIMENTALES MEDIANTE LA NORMA NTE INEN 2  
185:2010”**

**Trabajo de Integración curricular**

Tipo: Proyecto de investigación

Presentado para optar el grado académico de:

**INGENIERO AUTOMOTRIZ**

**AUTORES: DANIEL VINICIO GUANOLUIZA CAZCO**

**JONATHAN CHRISTIAN MOROCHO MOROCHO**

**DIRECTORES: Ing. VÍCTOR DAVID BRAVO MOROCHO**

Riobamba – Ecuador

2021

**©2021, Daniel Vinicio Guanoluiza Cazco & Jonathan Christian Morocho Morocho**

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, DANIEL VINICIO GUANOLUIZA CAZCO y JONATHAN CHRISTIAN MOROCHO MOROCHO declaramos que el presente trabajo de integración curricular 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 integración curricular. el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 24 de noviembre de 2021



Daniel Vinicio Guanoluiza Cazco  
Cédula de Identidad: 0603751470



Jonathan Christian Morocho Morocho  
Cédula de Identidad: 1720967247

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

El Tribunal del trabajo de integración curricular certifica que: El trabajo de titulación; Tipo: proyecto de investigación, **ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE DESGASTE DE LAS PASTILLAS DE FRENO A PARTIR PRUEBAS EXPERIMENTALES MEDIANTE LA NORMA NTE INEN 2 185:2010**, realizado por los señores: **DANIEL VINICIO GUANOLUIZA CAZCO, JONATHAN CHRISTIAN MOROCHO MOROCHO**, 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. Juan Carlos Rocha Hoyos MSc. <b>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</b>	<b>JUAN CARLOS ROCHA</b> <small>DN: cn=JUAN CARLOS ROCHA, o=JUAN CARLOS ROCHA, c=Ecuador, e=EC, o=ESCUELA POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO, ou=MECANICA, e=juan.rocha@espoch.edu.ec Motivo: Soy el autor de este documento</small>	2021-11-24
Ing. Víctor David Bravo Morocho <b>DIRECTOR DEL TRABAJO INTEGRACIÓN CURRICULAR</b>	<b>VICTOR DAVID BRAVO MOROCHO</b> <small>Firmado digitalmente por VICTOR DAVID BRAVO MOROCHO Fecha: 2022.04.13 10:22:57 -05'00'</small>	2021-11-24
Ing. Rodrigo Rigoberto Moreno Pallares <b>MIEMBRO DE TRIBUNAL</b>	<b>RODRIGO RIGOBERTO MORENO PALLARES</b> <small>Firmado digitalmente por RODRIGO RIGOBERTO MORENO PALLARES Fecha: 2022.04.12 16:11:43 -05'00'</small>	2021-11-24

## **DEDICATORIA**

A mis padres Ángel y Lucia, dedico con todo mi corazón mi proyecto investigativo, pues sin ellos no lo habría logrado, su bendición a diario a lo largo del trayecto de mi vida me protege y me lleva por el camino del bien, por eso mi trabajo expuesto en ofrenda por su apoyo, esfuerzo y sobre todo su paciencia, me motivaron constantemente alcanzar mis anhelos.

***Daniel***

A mis padres Pedro y Luz María, a mi hermana Karolay ya que ellos fueron fundamentales para poder realizar el presente trabajo investigativo y supieron guiarme por un camino de bien. A mi familia en general ya que siempre supieron motivarme para continuar con mi formación académica y nunca perdieron la confianza en mí.

***Jonathan***

## **AGRADECIMIENTO**

A todas aquellas personas que nos apoyaron desde el comienzo de nuestra formación académica, a todas las personas que estuvieron en los buenos y malos momentos tanto en el ámbito académico como en el ámbito personal, familia y amigos, ya que, gracias a su apoyo incondicional fue posible la elaboración de este proyecto investigativo, a todos ellos un sincero gracias. Una eterna gratitud a nuestros docentes, que estuvieron en todo el trayecto de nuestra formación académica tanto como personas y como profesionales. A nuestros queridos tutores que, gracias a sus aportes, su inmensa honestidad y apoyo, han hecho que lo complicado de lograr esta meta se note menos, se les agradece infinitamente.

Daniel & Jonathan

## TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xii
ÍNDICE DE ANEXOS .....	xiv
RESUMEN .....	xv
SUMMARY .....	xvi
INTRODUCCIÓN .....	1

### CAPÍTULO I

1.	MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....	2
1.1.	Justificación.....	2
1.2.	Objetivos.....	3
1.2.1.	<i>Objetivo general</i> .....	3
1.2.2.	<i>Objetivo específico</i> .....	3
1.3.	Hipótesis .....	4
1.4.	Problema.....	4
1.5.	Estado del arte.....	4
1.6.	Impacto ambiental por partículas de polvo .....	17
1.7.	Composición de compuesto de pastillas de freno.....	17
1.7.1.	<i>Composición Química</i> .....	18
1.8.	Dureza.....	18
1.9.	Gravedad específica .....	19
1.10.	Estabilidad dimensional .....	19
1.11.	Deformación por corte.....	19
1.12.	Deformación por compresión.....	19
1.13.	Normativa de comercialización.....	19
1.14.	Desgaste .....	20
1.14.1.	<i>Tipos de desgaste</i> .....	20

### CAPÍTULO II

2.	MARCO METODOLÓGICO.....	22
2.1.	Método de la investigación. ....	22

2.1.1.	<i>Método Inductivo</i> .....	22
2.1.2.	<i>Método deductivo</i> .....	22
2.1.3.	<i>Experimentación</i> .....	22
2.1.4.	<i>Equipos y materiales</i> .....	24
2.2.	<b>Análisis de los ensayos</b> .....	24
2.2.1.	<i>Ensayo de dureza</i> .....	24
2.2.2.	<i>Ensayo de gravedad específica</i> .....	26
2.2.3.	<i>Ensayo de estabilidad dimensional</i> .....	27
2.2.4.	<i>Ensayo de resistencia al corte</i> .....	30
2.2.5.	<i>Ensayo de deformación por compresión</i> .....	33
2.2.5.1.	<i>Ensayo de calentamiento</i> .....	34
2.2.6.	<i>Ensayo de composición química</i> .....	36
2.3.	<b>Experimento</b> .....	37
2.3.1.	<i>Selección del vehículo</i> .....	37
2.3.2.	<i>Selección de la ruta</i> .....	38
2.3.3.	<i>Pastillas de freno a usar</i> .....	39
2.3.4.	<i>Medida de desgaste de las pastillas para cada ciclo</i> .....	40
2.4.	<b>Temperatura</b> .....	41
2.5.	<b>Variables de estudio</b> .....	43

### CAPITULO III

3.	<b>RESULTADOS</b> .....	44
3.1.	<b>Medida de desgaste de las pastillas para cada ciclo</b> .....	44
3.1.1.	<i>Resultados de desgaste externo</i> .....	45
3.1.1.1.	<i>Análisis ANOVA del desgaste (lado externo) entre las FMX e IMFRISA</i> .....	46
3.1.2.	<i>Resultados de desgaste interno</i> .....	49
3.1.2.1.	<i>Análisis ANOVA del desgaste (lado interno) entre las FMX y IMFRISA</i> .....	49
3.2.	<b>Resultados de temperatura</b> .....	53
3.2.1.	<i>Análisis ANOVA temperatura de funcionamiento de las pastillas de freno</i> .....	54
3.3.	<b>Resultados del ensayo de dureza</b> .....	56
3.4.	<b>Resultados ensayo de corte</b> .....	57
3.5.	<b>Resultados de ensayo espectrograma</b> .....	59
3.6.	<b>Resultados del ensayo de deformación</b> .....	60
3.7.	<b>Resultados del ensayo de gravedad específica</b> .....	62
3.8.	<b>Resultados del ensayo de estabilidad dimensional</b> .....	62

<b>3.9.</b>	<b>Resumen de resultados de los ensayos .....</b>	<b>63</b>
<b>3.10.</b>	<b>DISCUSIÓN .....</b>	<b>64</b>
	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>66</b>
	<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>67</b>
	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	
	<b>ANEXOS</b>	

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-1:</b>	Valores P de ANOVA para variables de respuesta .....	5
<b>Tabla 2-1:</b>	Ensayo de tracción pastillas ecuatorianas (a), colombianas (b), coreanas (c) .....	7
<b>Tabla 3-1:</b>	Desgaste de masas pastillas ecuatorianas (a), colombianas (b), coreanas (c) .....	7
<b>Tabla 4-1:</b>	Masa promedio de las pastillas de freno .....	12
<b>Tabla 5-1:</b>	Masa, volumen y densidad de las pastillas de freno. ....	12
<b>Tabla 6-1:</b>	Promedio de volumen perdido de las diferentes pastillas de freno. ....	13
<b>Tabla 7-1:</b>	Condiciones atmosféricas: (a) 2500 msnm, (b) a nivel del mar .....	15
<b>Tabla 8-1:</b>	Pruebas a: (a) 2500 msnm, (b) nivel del mar .....	15
<b>Tabla 9-1:</b>	Comparativa de desgaste .....	16
<b>Tabla 1-2:</b>	Resultados Dureza Brinell IMFRISA .....	25
<b>Tabla 2-2:</b>	Resultados Dureza Brinell FMX .....	25
<b>Tabla 3-2:</b>	Registro del peso de las muestras de 50 g .....	27
<b>Tabla 4-2:</b>	Registro de espesor a temperatura ambiente y después del ensayo .....	28
<b>Tabla 5-2:</b>	Registro de espesor a temperatura ambiente y después del ensayo .....	29
<b>Tabla 6-2:</b>	Dimensiones de las probetas .....	31
<b>Tabla 7-2:</b>	Resultados del ensayo de corte IMFRISA .....	32
<b>Tabla 8-2:</b>	Resultados del ensayo de corte FMX .....	33
<b>Tabla 9-2:</b>	Ensayo deformación a 22.5°C y 400°C aplicando fuerzas de 4,6,8 N .....	35
<b>Tabla 10-2:</b>	Ensayo deformación a 22.5°C y 392°C aplicando fuerzas de 4,6,8 N .....	35
<b>Tabla 11-2:</b>	Contenido metálico de pastilla IMFRISA .....	36
<b>Tabla 12-2:</b>	Contenido metálico de pastilla FMX .....	37
<b>Tabla 13-2:</b>	Distancia y tiempo total requerido pruebas de ruta .....	39
<b>Tabla 14-2:</b>	Especificaciones de las pastillas de freno a utilizar .....	39
<b>Tabla 15-2:</b>	Masa en kg del vehículo, conductor y ocupantes. ....	40
<b>Tabla 16-2:</b>	Resultados de temperatura vs posición .....	42
<b>Tabla 17-2:</b>	Designación de nomenclatura para la formación de factores .....	43
<b>Tabla 18-2:</b>	Factores y niveles de variables .....	43
<b>Tabla 1-3:</b>	Valores de cada ciclo de las pastillas de freno FMX e IMFRISA .....	44
<b>Tabla 2-3:</b>	Comparativa de desgaste en gramos (lado externo), FMX vs IMFRISA .....	45
<b>Tabla 3-3:</b>	Análisis de varianza .....	46
<b>Tabla 4-3:</b>	Medias de las pastillas de frenos .....	47
<b>Tabla 5-3:</b>	Comparativa de desgaste (lado interno), FMX vs IMFRISA .....	48
<b>Tabla 6-3:</b>	Análisis de varianza .....	49

<b>Tabla 7-3:</b>	Medias correspondientes a las pastillas de freno .....	50
<b>Tabla 8-3:</b>	Promedio de masa perdida para los dos tipos de pastillas de freno .....	52
<b>Tabla 9-3:</b>	Porcentajes de desgaste para los dos tipos de pastillas de freno .....	53
<b>Tabla 10-3:</b>	Análisis de varianza de temperatura de pastillas de freno .....	54
<b>Tabla 11-3:</b>	Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95% ...	56
<b>Tabla 12-3:</b>	Resultados del ensayo de corte en probetas de IMFRISA .....	57
<b>Tabla 13-3:</b>	Resultados del ensayo de corte en probetas de FMX .....	58
<b>Tabla 14-3:</b>	Resumen de resultados.....	64

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-1:</b>	(a) Parámetros de borde; (b) Coordenadas, conexiones y contactos .....	8
<b>Figura 2-1:</b>	Resultado de esfuerzos equivalentes.....	9
<b>Figura 3-1:</b>	Resultado de penetración en las pastillas .....	9
<b>Figura 4-1:</b>	Resultados deformación y diagrama esfuerzo vs deformación de pastillas.....	9
<b>Figura 1-2:</b>	Metodología a utilizar .....	23
<b>Figura 2-2:</b>	Durómetro de mesa Ernest .....	24
<b>Figura 3-2:</b>	Medición del peso de un fragmento de pastilla.....	26
<b>Figura 4-2:</b>	Corte de las pastillas en 50 g de las FMX y IMFRISA.....	26
<b>Figura 5-2:</b>	Marcado, medición y comprobación de temperatura; Pastilla FMX .....	28
<b>Figura 6-2:</b>	Superficie de las pastillas FMX.....	29
<b>Figura 7-2:</b>	Marcado, medición y comprobación de temperatura; Pastillas IMFRISA.....	29
<b>Figura 8-2:</b>	Superficie de las pastillas IMFRISA .....	30
<b>Figura 9-2:</b>	Maquina de universal .....	30
<b>Figura 10-2:</b>	Accesorio de corte .....	31
<b>Figura 11-2:</b>	Probetas de la marca IMFRISA.....	32
<b>Figura 12-2:</b>	Probetas de la marca FMX .....	32
<b>Figura 13-2:</b>	Aplicación de carga sobre las pastillas .....	33
<b>Figura 14-2:</b>	Marcado de los puntos de medición de espesor de la IMFRISA.....	34
<b>Figura 15-2:</b>	Marcado de los puntos de medición del espesor de la FMX.....	34
<b>Figura 16-2:</b>	Placa calefactora eléctrica .....	34
<b>Figura 17-2:</b>	Muestra tipo II.....	35
<b>Figura 18-2:</b>	Espectrómetro OLYMPUS DPO 200-C .....	36
<b>Figura 19-2:</b>	Chevrolet Spark 1.0 2010 .....	38
<b>Figura 20-2:</b>	Ruta Riobamba – Ambato. ....	38
<b>Figura 21-2:</b>	Pastillas de freno (a) marca IMFRISA, (b) marca FMX.....	40
<b>Figura 22-2:</b>	Bascula digital .....	41
<b>Figura 23-2:</b>	Perfil del tramo humbalo-baños.....	41
<b>Figura 24-2:</b>	Termómetro infrarrojo de la marca habotest.....	42

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1-1:</b>	Efectos de la variable Desgaste de las pastillas de freno - potencia 3 CV.....	5
<b>Gráfico 2-1:</b>	a) Prueba de Tukey presión de accionamiento; b) factor pastilla .....	6
<b>Gráfico 3-1:</b>	a) Variable de respuesta Desgaste- potencia 10 CV; b) factor de velocidad .....	6
<b>Gráfico 4-1:</b>	Flujo de calor .....	10
<b>Gráfico 5-1:</b>	Esfuerzo de fricción.....	10
<b>Gráfico 6-1:</b>	(a) Penetración; (b) deformación total. ....	11
<b>Gráfico 7-1:</b>	Energía cinética y de deformación .....	11
<b>Gráfico 8-1:</b>	Análisis en barras del volumen perdido de cada material en cm <sup>3</sup> .....	13
<b>Gráfico 9-1:</b>	Porcentaje de desgaste de cada tipo de pastilla de freno. ....	14
<b>Gráfico 10-1:</b>	Pruebas a: (a) 2500 msnm, (b) nivel del mar.....	16
<b>Gráfico 11-1:</b>	Comparativa de desgaste.....	17
<b>Gráfico 1-2:</b>	Ventas anuales Chevrolet 2007 – 2019 .....	37
<b>Gráfico 1-3:</b>	Desgaste por ciclo para (a) FMX, (b) IMFRISA.....	45
<b>Gráfico 2-3:</b>	Comparación de desgaste (lado externo) de las pastillas de freno .....	46
<b>Gráfico 3-3:</b>	Gráfica comparativa de Tukey.....	47
<b>Gráfico 4-3:</b>	(a) Intervalos y (b) gráfica de caja de desgaste por pastilla de frenos. ....	47
<b>Gráfico 5-3:</b>	Probabilidad (a) FMX, (b) IMFRISA con respecto al desgaste.....	48
<b>Gráfico 6-3:</b>	Comparación de desgaste (lado interno) de las pastillas de freno .....	49
<b>Gráfica 7-3:</b>	Gráfica comparativa de Tukey .....	50
<b>Gráfico 8-3:</b>	(a) Intervalos y (b) gráfica de caja de desgaste por pastilla de frenos .....	51
<b>Gráfico 9-3:</b>	Probabilidad, (a) FMX, (b) IMFRISA con respecto al desgaste.....	51
<b>Gráfico 10-3:</b>	Porcentaje de desgaste de cada tipo de pastilla de freno. ....	53
<b>Gráfico 11-3:</b>	Temperatura vs posición .....	54
<b>Gráfico 12-3:</b>	Media de temperatura de pastillas en 3 ciclos. ....	56
<b>Gráfico 13-3:</b>	Dureza de cada probeta.....	57
<b>Gráfico 14-3:</b>	Representación de Resultados ensayo de corte .....	58
<b>Gráfico 15-3:</b>	Representación de porcentaje de compuestos metálicos de IMFRISA.....	59
<b>Gráfico 16-3:</b>	Representación de porcentaje de compuestos metálicos FMX.....	59
<b>Gráfico 17-3:</b>	Diagrama de barras de la deformación a 22.5°C de la marca FMX .....	60
<b>Gráfico 18-3:</b>	Diagrama de barras de la deformación a 400°C de la marca FMX .....	60
<b>Gráfico 19-3:</b>	Diagrama de barras de la deformación a 22.5°C de la marca IMFRISA .....	61
<b>Gráfico 20-3:</b>	Diagrama de barras de la deformación a 400°C de la marca IMFRISA .....	61
<b>Gráfico 21-3:</b>	Contenido porcentual de gravedad específica de las dos marcas.....	62

<b>Gráfico 22-3:</b>	Comparativa de superficie a 25.5°C Y 206°C.....	63
<b>Gráfico 23-3:</b>	Comparativa de superficie a 25.5°C Y 199°C.....	63

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

- ANEXO A:** Informe de resultados de CFPMCT del ensayo espectrometría.
- ANEXO B:** Informe de resultados CFPMCT del ensayo de Dureza.
- ANEXO C:** Registro del ensayo de corte de la probeta 1.
- ANEXO D:** Registro del ensayo de deformación de la probeta 1.
- ANEXO E:** Masa inicial de las pastillas de freno.
- ANEXO F:** Cálculo masa perdida de pastilla de asbesto, carbón, cerámica y metálica.
- ANEXO G:** Resultados expresados en perdida de volumen.
- ANEXO H:** Registro de peso de cada ciclo del ensayo experimental.

## RESUMEN

En el presente proyecto de investigación se pone a prueba la fiabilidad de dos tipos de pastillas de frenos semimetálicas, las cuales pertenecen a las marcas FMX e IMFRISA. Se tomará como referencia la normativa NTE INEN 2 185:2010. Con la finalidad de analizar la dureza que determina la profundidad de la huella H bajo una fuerza preliminar se utilizara un durómetro. Se realizo un análisis espectrómetro a través de una descarga de radiación por fluorescencia de rayos x para de esa manera revelar los materiales metálicos que contienen las pastillas de freno. Se propuso deformación por compresión a la superficie de material de fricción con el fin de medir la compresibilidad del material. Se aplicó resistencia al corte en pequeñas probetas para determinar el esfuerzo cortante en la superficie del área bajo tensión. Se efectuó el ensayo de gravedad específica a probetas de un peso concreto para determinar su compactibilidad del material de fricción. Se utilizo la estabilidad dimensional con el fin de conocer su reacción en la superficie del material al cambio de temperatura. Se aplico la prueba experimental en ruta para establecer el desgaste del material de fricción en su superficie en condiciones benefactoras. Como resultado a través del software MINITAB 19, en donde se realizó un análisis ANOVA el cuál condujo dicho estudio se aprecia que la pastilla de freno que posee un mayor desgaste fue la de la marca FMX con un porcentaje mayor que la marca IMFRISA. Se concluye que existen condiciones en las cuales el material de fricción tiene mayor o menor tendencia a un desgaste prematuro juntamente con las características metálicas que contiene cada material de fricción que evidencia el grado de desgaste. A partir de estos análisis recomienda realizar un número mayor de ciclo de ruta.

**Palabras clave:** < MATERIAL DE FRICCIÓN >, < COMPOSICIÓN QUÍMICA >, < DESGASTE POR FRICCIÓN >, < TEMPERATURA >, < FIABILIDAD >.



0338-DBRA-UPT-2022

2022-02-21

## **ABSTRACT**

This research project aimed to test the reliability of two types of semi-metallic brake pads belonging to the FMX and IMFRISA brands. The NTE INEN 2 185:2010 standard was taken as a reference to analyze the hardness that determines the depth of the footprint H under a preliminary force, using a hardness tester. It was performed a spectrometric analysis through an x-ray fluorescence radiation discharge to reveal the metallic materials contained in the brake pads. Compression deformation was proposed to the friction material surface to measure the material compressibility. Shear strength was applied to small specimens to determine the shear stress on the surface of the area under tension. The specific gravity test was carried out on specimens of a specific weight to determine the compactness of the friction material. Dimensional stability was used to know its reaction on the material surface facing a temperature change. The experimental en route test was applied to establish the wear of the friction material on its surface under beneficial conditions. As a result, through the MINITAB 19 software, where an ANOVA analysis was carried out. It was observed that the brake pad with the highest wear was of the FMX brand with a higher percentage than the IMFRISA Brand . It is concluded that there are conditions in which the friction material has a greater or lesser tendency to premature wear together with the metallic characteristics that each friction material contains that show the degree of wear. Based on these analyses, it is recommended to carry out a higher number of the cycle path.

Keywords: <FRICTION MATERIAL> <BRAKE PADS> <CHEMICAL COMPOSITION> <WEAR BY FRICTION> <SPECTROMETER>.



firmado electrónicamente por:  
**PATRICIA PILAR  
MOYOTA AMAGUAYA**

## INTRODUCCIÓN

Recientemente el gran crecimiento de la industria automotriz con ello la manufactura de partes y piezas de uso reemplazables como son las pastillas de freno, uno de los más comunes he importantes para la seguridad activa del vehículo. Esta investigación es específica en conocer los materiales de cuales están compuestos dicho elemento además de estar al tanto de su desgaste entre pastillas de diferentes marcas bajo la misma categoría el fin de beneficiar a pequeñas y grandes fábricas productoras de pastillas de freno, así como el cumplimiento de lo ofrecido.

Las pastillas de freno tienen una duración aproximada de 20 000 km su valor varía según el tipo de compuesto, tipo de conducción, geografía y velocidad, el país se encuentra lleno de lugares de muchas pendientes y curvas sinuosas lo cual conlleva una vida útil menor, que se resume en que cada cambio de pastillas represente un gasto y esto al bolsillo del conductor.

Para determinar cuál es mejor entre las dos pastillas seleccionadas bajo el mismo compuesto se someterán a los dos especímenes a ensayos rigurosos guiándose mediante normas. Asimismo, se realizará experimentos de campo como es someter a un desgaste por uso en las mismas condiciones en un vehículo y experimento de laboratorios de instituciones que nos brindara la información complementaria para dicha investigación.

El análisis de desgaste será bajo el método experimental para determinar quién obtendrá mayor vida útil al mismo tiempo se indicará que pastilla de estas marcas es mejor bajo un criterio de mayor puntaje sobre la otra, dando a conocer las diferencias de sus compuestos y características de cada uno.

# CAPÍTULO I

## 1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

### 1.1. Justificación

El sistema de frenos ha mejorado considerablemente en las últimas décadas, y con ello cada componente que conforma dicho sistema. Uno de los componentes importantes dentro de este sistema son las pastillas de freno. En la actualidad la mayoría de los fabricantes de fricción como ROAD HOUSE emplea en mayor o menor medida esta base: fibras, cargas minerales, componentes metálicos, lubricantes, materiales orgánicos y abrasivos (Road House, 2020).

En Ecuador la demanda por pastillas de freno alternativa ha ido aumentando en los últimos años, esto se debe a muchos factores, uno de ellos es el precio, ya que una pastilla de frenos costara más que otras en el mercado.

Los fabricantes para poder producir componentes como las pastillas de freno deben apegarse a la normativa establecida por NTE INEN 2 1185:2010 donde se detalla los requerimientos que deben cumplir para la elaboración de dicho componente.

Según el estudio realizado por (Rodríguez; & Nieto, 2017, p. 76) menciona que “el proceso de frenado de un vehículo particular, para determinar la viabilidad de un sistema diagnóstico que establezca su estado actual en tiempo real disminuyendo los índices de accidentalidad” por ende escoger el tipo de pastilla que proporcione los mejores tributos y seguridad al vehículo y a sus ocupantes. Con lo cual se busca transmitir a los propietarios de los automotores, el porqué de su rápido desgaste frente a otras pastillas. Así establecer la eficiencia de los materiales usados.

El estudio del sistema de frenos es importante ya que de él depende la seguridad del pasajero al momento de conducir, debido a esto se debe realizar el respectivo mantenimiento de las pastillas de freno y las zapatas para evitar distancias de frenado largas y derrapes indeseados.

El presente trabajo investigativo se realizará un análisis del comportamiento de desgaste de las pastillas de freno de marca FMX frente a la marca IMFRISA mediante pruebas experimentales. Este proyecto permitirá conocer propiedades como, su composición del material compuesto ofreciendo mejoras en su comportamiento de las pastillas producidas remplazándose la resina fenol-formaldehido sintética por lignosulfonato de amonio metalográfica. (Bittencourt, 2018, pp. 3-5), El análisis de la resistencia al desgaste abrasivo de las pastillas de freno mediante máquinas de ensayo ha ido implementándose en distintos países del mundo ya que permiten establecer un procedimiento de laboratorio uniforme para asegurar e informar las características de fricción y desgaste de las almohadillas de freno (Mejía; & Simbaña, 2020, p. 2).

De esta manera se optó por un análisis de laboratorio como la espectrometría, espectrografía. Para poder completar sus propiedades mecánicas se realizará un ensayo de deformaciones según la norma INEN-ISO 6310 donde menciona que el método para el ensayo y medición de la deformación por compresión de los revestimientos de freno los cuales son aplicables a los ensambles de pastilla de freno de disco (NTE INEN-ISO 6310, 2009).

La resistencia al corte según la norma INEN-ISO 6311 la cual dice que el método de ensayo para determinar la resistencia interna al corte de los materiales de fricción y desgaste de las pastillas de freno con la elaboración de ensayos los cuales admitirá un criterio del comportamiento de desgaste, resistencia al corte según la norma INEN-ISO 6311 la cual argumenta que el método de ensayo para determinar la resistencia interna al corte de los materiales de fricción (NTE INEN-ISO 6311, 2009) y desgaste de las pastillas de freno con la elaboración de ensayos los cuales admitirá un criterio del comportamiento de desgaste.

Para llevar a cabo la investigación primero se someterá a pruebas de laboratorio donde se comprobará los materiales que estos conforman según el estudio realizado por (Chico; & Terán, 2019).

## **1.2. Objetivos**

### ***1.2.1. Objetivo general***

Estudiar el desgaste que sufren las pastillas de freno mediante pruebas experimentales en ruta, y a través de ensayos propuestos por la normativa INEN 2 185:2010, poder establecer la pastilla de freno que conste con las mejores características.

### ***1.2.2. Objetivo específico***

Realizar una gráfica de relaciones de desgaste de las pastillas IMFRISA y FMX mediante pruebas experimentales para evaluar su porcentaje de decadencia.

Registrar los valores de temperatura de las pastillas de freno, a través de las pruebas en ruta para realizar comparaciones de térmicas de funcionamiento.

Identificar los materiales de composición de pastillas de freno mediante una prueba de espectrometría para comparar sus materiales de fricción.

Determinar las características mecánicas de resistencia mediante ensayos de dureza y de corte del material de fricción de las pastillas de freno.

### 1.3. Hipótesis

¿Las condiciones de ruta provocan un desgaste simétrico entre las pastillas de frenos FMX e IMFRISA?

¿EL rendimiento y eficacia de las pastillas de freno, tanto FMX como IMFRISA dependerán del material de fricción que contengan?

### 1.4. Problema

En la región sudamericana existen una gran variedad de pastillas de frenos que se comercializan, con diferentes compuestos a fin de cada fabricante, lo que genera incertidumbre en los conductores al momento de adquirir dichos componentes. En Ecuador marcas como FMX proveniente de China e IMFRISA proveniente de Colombia, son las de mayor cotización, por lo cual se eligieron estas dos marcas para su análisis. En búsqueda por conocer que pastilla de freno ofrece mejores prestaciones, se realizaron pruebas experimentales y de laboratorio. Con el fin de informar a los conductores de la región cual es la marca más adecuada para su vehículo.

### 1.5. Estado del arte

El sistema de frenos es un dispositivo que se utiliza para controlar la velocidad de un vehículo o máquina, convirtiendo la energía cinética y energía potencial en energía térmica. El principio básico involucrado es la fricción. El componente que más influye en el rendimiento de un sistema de freno de disco es la pastilla de freno (Machado et al., 2020, p. 2).

El freno de fricción funciona como una garantía indispensable para el trabajo regular y el funcionamiento seguro de vehículos y equipos industriales. Debido a la fricción del par de frenos, el frenado se considera generalmente como un proceso de transferencia de energía cinética en energía térmica. La fricción producirá calor y algunos de ellos se irradian a través de la conducción y convección del par de frenos, mientras que otros son absorbidos por reacciones físico - químicas y comportamientos de desgaste en la interfaz de fricción (Xiao et al., 2016, pp. 5-8). El estudio realizado por (Machado et al. 2020) sobre el **“Análisis comparativo del efecto térmico y desgaste sufrido por un material de fricción de freno de disco sometido a pruebas en un banco Krauss con variaciones de potencia del motor y condiciones de funcionamiento”**, en donde se realizan pruebas variando la potencia del motor de 3 CV a 10 CV, así evaluar el desempeño del sistema de frenos durante el proceso de frenado, analizando tres variables de respuesta: temperatura final, coeficiente de fricción y desgaste de las pastillas de freno.

Mediante el software Minitab 17 realizan un análisis estadístico ANOVA, en la Tabla 1-1 se muestran los valores P de ANOVA para las variables respuesta. Se considera el nivel de

significancia  $\alpha = 0.05$ , se observa que para las variables de respuesta de temperatura final y coeficiente de rozamiento los componentes tales como el disco, la pastilla, la presión no causan cambios medios significativos. En cuanto al desgaste de la pastilla, los resultados indican que no hay diferencia entre los niveles de cada factor o interacciones para promover cambios significativos (Machado et al., 2020, pp.6-10).

**Tablas 1-1:** Valores P de ANOVA para variables de respuesta

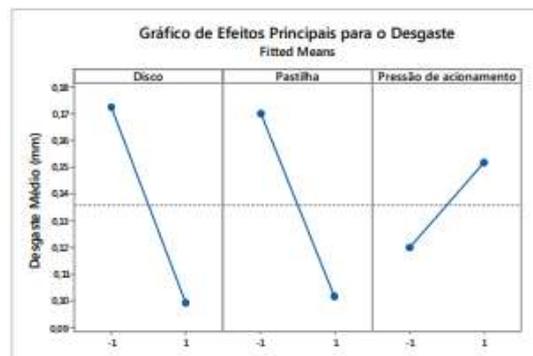
Componente \ Respuesta	Temp. Final	Coef. de Fricción	Desgaste
Disco	0,000	0,000	0,082
Pastilla	0,022	0,000	0,104
Presión	0,000	0,003	0,444
Disco*Pastilla	0,056	0,479	0,564
Disco*Presión	0,128	0,007	0,261
Pastilla*Presión	0,001	0,023	0,529
Disco*Pastilla*Presión	0,094	0,772	0,053

Fuente: Machado et al. 2020.

Realizado por: Guanoluiza Daniel y Morocho Jonathan, 2020.

+

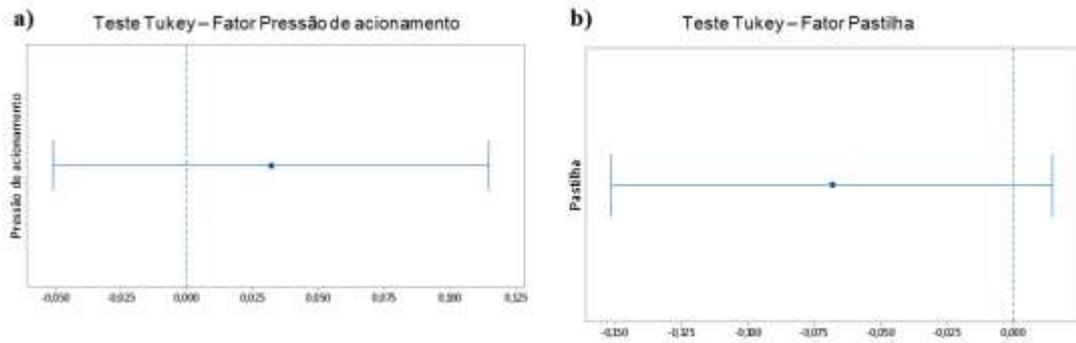
El Gráfico 1-1 representa los efectos principales para la variable de respuesta desgaste. Tiene una función de minimización objetiva, ya que, a menor desgaste sufrido por el material de fricción con el tiempo mejor, por mayor durabilidad y menores costos de reposición. La gráfica muestra que los altos niveles del disco y las pastillas (ambos nuevos) y la presión en el nivel bajo (0.1 MPa) proporcionan una combinación de menor desgaste en las pastillas (Machado et al. 2020, p. 6-10).



**Gráfico 1-1:** Efectos de la variable Desgaste de las pastillas de freno - potencia 3 CV

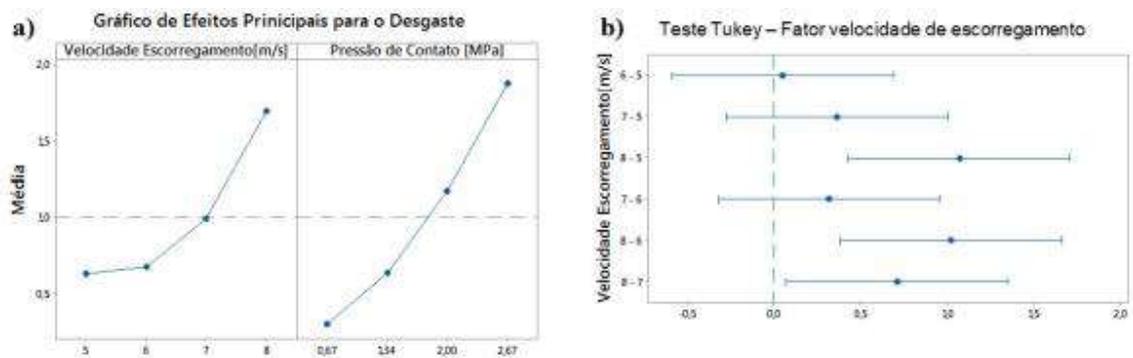
Fuente: Machado et al. 2020.

El Gráfico 2-1 muestra las pruebas de Tukey para el factor presión de accionamiento y factor pastilla, si el intervalo entre los niveles de los factores contiene cero, significa que esos niveles no presentan diferencias significativas capaces de cambiar la variable de respuesta, al nivel de significancia considerado (Machado et al. 2020, p. 6-10).



**Gráfico 2-1:** a) Prueba de Tukey para presión de accionamiento; b) factor pastilla  
Fuente: (Machado Pinto et al. 2020)

Se debe de tener en cuenta que el objetivo de cambiar la potencia del motor de 3 a 10 CV es analizar el comportamiento de la variable de respuesta al desgaste. El Gráfico 3-1 (a), para el factor de velocidad de deslizamiento, los tres niveles más bajos probados (5, 6 y 7 m / s) tuvieron valores de desgaste más bajos, que se volvieron más significativos en el nivel más alto (8 m / s). Mientras que en el Gráfico 3-1 (b), se observa que los intervalos para las velocidades de deslizamiento (6-5; 7-5; y 7-6 m / s) contienen cero, lo que significa que estos tres niveles no promueven diferencias significativas en la variable de respuesta al desgaste (Machado et al. 2020, p. 6-10).



**Gráfico 3-1:** a) Variable de respuesta Desgaste- potencia 10 CV; b) factor de velocidad  
Fuente: (Machado et al. 2020)

La investigación realizada por (Ríos; & Rivera, 2017) sobre el “Análisis mecánico del desgaste de las pastillas de freno en las motocicletas”, realizan su trabajo investigativo basándose en la norma ASTM – G65 al comparar el desgaste de las pastillas de freno en un módulo de desgaste. (Ríos; & Rivera, 2017, p. 14-17) diseñaron las probetas de tres tipos de pastillas de frenos (ecuatorianas, colombianas y coreanas), procedieron a medir la masa inicial de las muestras y se procede a realizar la prueba de desgaste, una vez terminada la prueba midieron la masa final de las muestras. Obteniendo los siguientes resultados:

**Tabla 2-1:** Ensayo de tracción en pastillas ecuatorianas (a), colombianas (b), coreanas (c)

Pastilla de Pruebas Ecuatoriana	
Estado Inicial	
Estado Final	

(a)

Pastilla de Pruebas Colombiana	
Estado Inicial	
Estado Final	

(b)

Pastilla de Pruebas Coreana	
Estado Inicial	
Estado Final	

(c)

Fuente: Ríos; & Criollo, 2017.

Realizado por: Guanoluiza Daniel y Morocho Jonathan, 2020.

**Tabla 3-1:** Desgaste de masas en pastillas ecuatorianas (a), colombianas (b) y coreanas (c)

	Pastillas Semimetálicas Ecuatorianas		
	1	2	3
Masa inicial (g)	33,232	33,428	33,523
Masa final (g)	32,163	32,268	32,501
Diferencia de masa (g)	1,069	1,16	1,022

(a)

	Pastillas Semimetálicas Colombianas		
	1	2	3
Masa inicial (g)	30,512	28,124	33,501
Masa final (g)	28,947	25,899	31,745
Diferencia de masa (g)	1,565	2,225	1,756

(b)

Pastillas Cerámicas Coreanas			
	1	2	3
<b>Masa inicial (g)</b>	28,512	25,221	27,714
<b>Masa final (g)</b>	27,423	24,212	26,511
<b>Diferencia de masa (g)</b>	1,089	1,009	1,203

(c)

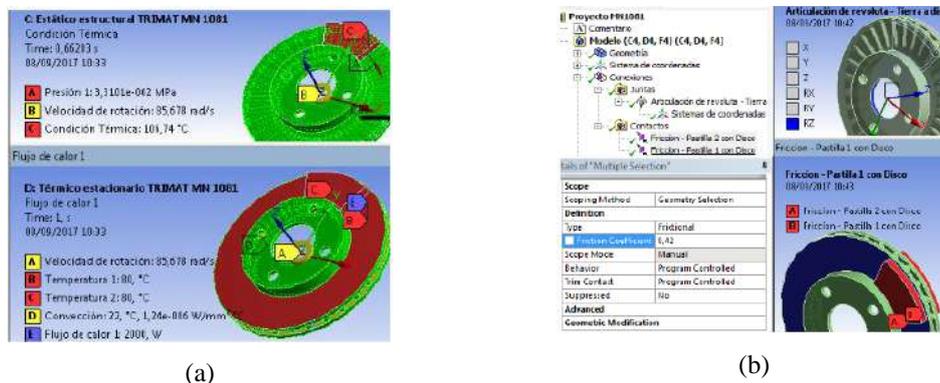
Fuente: Ríos; & Rivera, 2017.

Realizado por: Guanoluiza Daniel y Morocho Jonathan, 2020.

(Ríos; & Rivera, 2017, p. 14-17) llegaron a la conclusión de que las pastillas de freno semimetálicas son más resistentes al desgaste abrasivo que las cerámicas. Determinaron cuál de las tres pastillas de freno es más óptima dando como resultado con un alto nivel de resistencia las pastillas de origen ecuatoriano, seguida de la colombiana y finalmente la coreana.

El estudio realizado por (Vinueza; & Gutiérrez, 2018) sobre el “Análisis por el método de elementos finitos del comportamiento de las pastillas de freno ABS con base de acero y zinc al discretizar el elemento continuo al utilizar “software” CAE” analizan el fenómeno de frenado observando las principales variantes como: calor generado por la fricción, vibración y esfuerzos. Para el análisis utilizan software ANSYS.

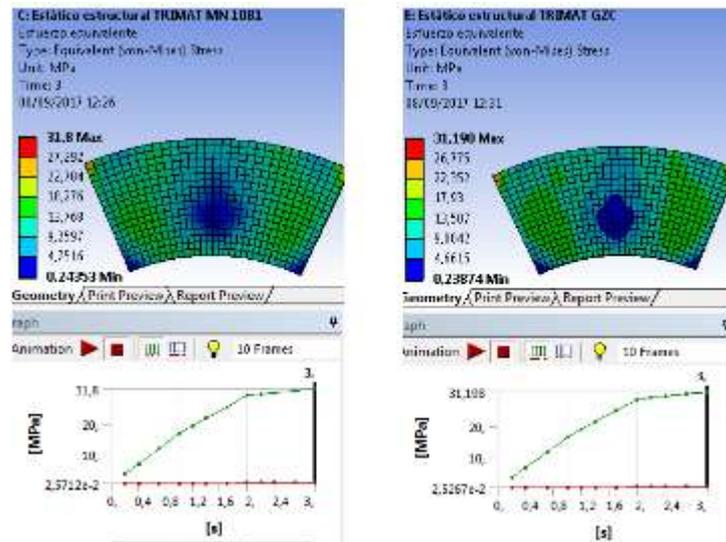
Inicialmente se modela en CAD sus partes para posteriormente ensamblarlas, luego se aplican las cargas y soportes dependiendo de las especificaciones.



**Figura 1-1:** (a) Colocación de los parámetros de borde; (b) Coordenadas, conexiones y contactos

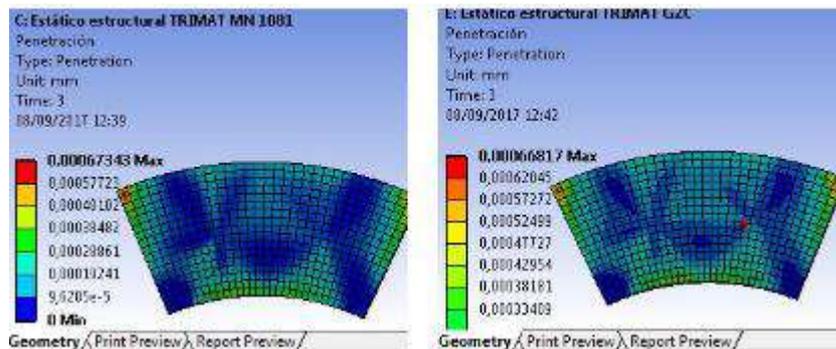
Fuente: Vinueza; & Gutiérrez 2018

En la Figura 2-1 se muestran los resultados del esfuerzo equivalente de Von-Mises, en la Figura 3-1 la penetración sobre las pastillas en el proceso de frenado y en la Figura 4-1 la deformación y diagrama esfuerzo versus deformación de las pastillas (Vinueza; & Gutiérrez, 2018, p. 12-15).



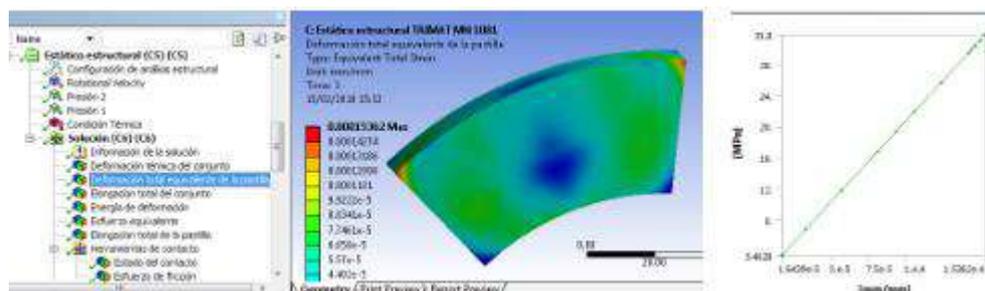
**Figura 2-1:** Resultado de esfuerzos equivalentes

Fuente: Vinueza; & Gutiérrez 2018



**Figura 3-1:** Resultado de penetración en las pastillas

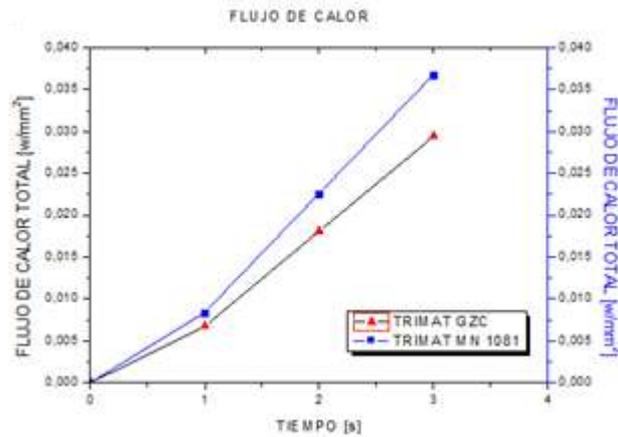
Fuente: Vinueza; & Gutiérrez 2018.



**Figura 4-1:** Resultados deformación y diagrama esfuerzo versus deformación de las pastillas

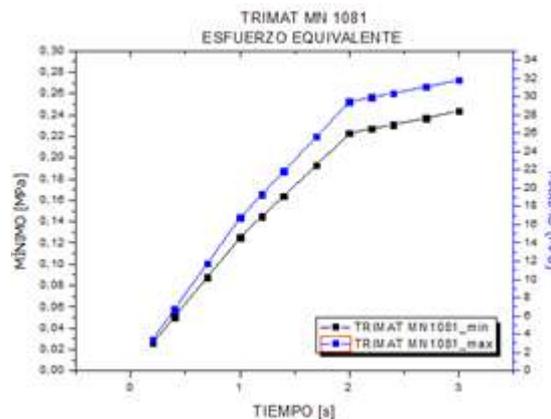
Fuente: Vinueza; & Gutiérrez 2018.

En el Gráfico 4-1 se muestra el flujo de calor de las pastillas, mediante un incremento lineal en ambos casos, lo cual implica que se produce un aumento de temperatura uniforme para los dos materiales analizados (Vinueza; & Gutiérrez, 2018, p. 12-15).



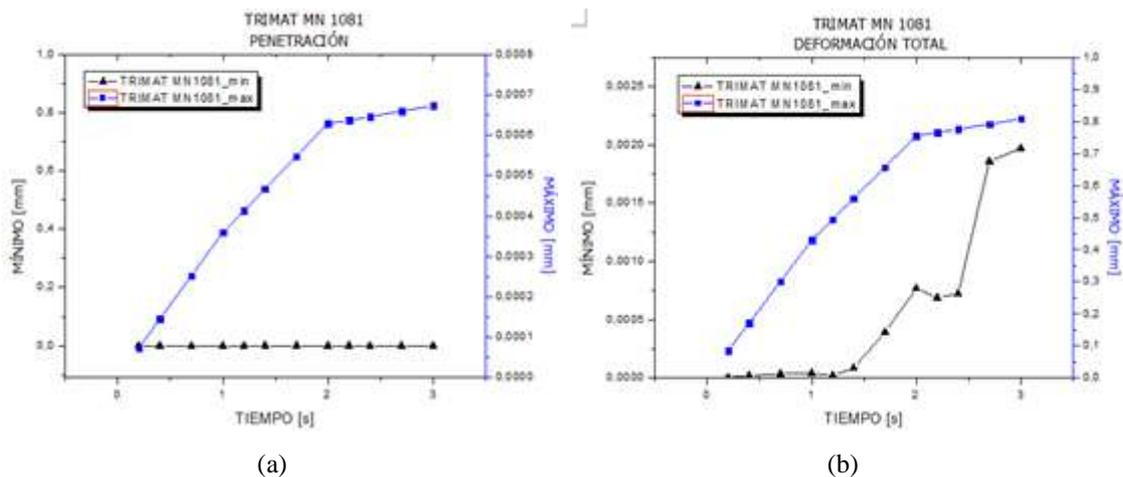
**Gráfico 4-1:** Flujo de calor  
**Fuente:** Vinueza; & Gutiérrez 2018

En el Gráfico 5-1 se verifica que el esfuerzo equivalente para los dos tipos de pastillas no supera al especificado por el fabricante. Para el Trimat GZC es de 148 MPa y para el Trimat MN1081 es de 62 MPa, indicando que no habrá falla del material (Vinueza; & Gutiérrez, 2018, p. 12-15).



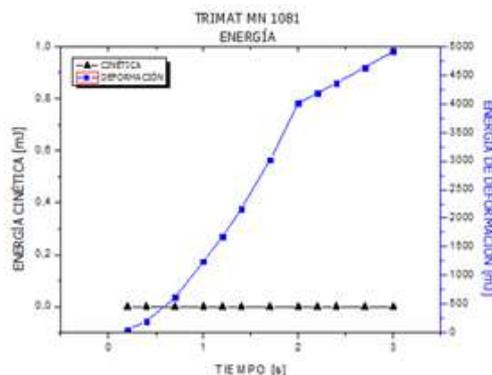
**Gráfico 5-1:** Esfuerzo de fricción.  
**Fuente:** Vinueza; & Gutiérrez 2018

Para determinar el desgaste de la superficie de las pastillas se utilizan los resultados obtenidos de la penetración del disco en la pastilla por cada frenada mostrada en el Gráfico 6-1 (a) y se tiene como máximo  $6,7343 \times 10^{-4}$  mm. Se analiza el comportamiento de la deformación de las pastillas al momento de la aplicación de la carga y proceso de frenado dando resultados en decimas de milímetro, como se observa en el Gráfico 6-1 (b) (Vinueza; & Gutiérrez, 2018, p. 12-15).



**Gráfico 6-1:** (a) Penetración; (b) deformación total.  
Fuente: Vinueza; & Gutiérrez 2018

En el Gráfico 7-1 se pueden apreciar las curvas de energía de deformación producidas por el sistema de frenado, esta se genera debido a que los frenos trabajan por rozamiento entre una parte móvil que está montada en la estructura de las ruedas y otra parte fija en la estructura del auto. En el análisis realizado durante un tiempo de 3 segundos se puede apreciar que se genera una cantidad de energía con un valor de 5000 mJ, lo cual corresponde a 1.67 W por cada frenada (Vinueza; & Gutiérrez, 2018, p. 12-15).



**Gráfico 7-1:** Energía cinética y de deformación.  
Fuente: Vinueza; & Gutiérrez 2018

(Álvarez; & Narváez, 2020) en su investigación sobre el “Análisis del desgaste por abrasión del material de las pastillas de freno de vehículos disponibles en el mercado local mediante ensayos basados en la norma técnica ASTM G-65 para determinar su nivel de desgaste”, en donde crearon un mecanismo para poner a prueba los distintos tipos de pastillas de freno como son: metálica, asbesto, carbón y cerámica, según la norma ASTM G-65.

Para lo cual crearon 20 probetas de cada tipo de pastilla de freno para ponerlas a prueba en el mecanismo creado, obteniendo los resultados mostrados en el ANEXO E.

**Tabla 4-1:** Masa promedio de las pastillas de freno

PASTILLA	MASA PROMEDIO (gr)
Asbesto	41,7676
Carbón	45,5272
Cerámica	34,4970
Metálica	53,4154

**Fuente:** (Álvarez; & Narváez 2020)

**Realizado por:** Guanoluiza Daniel y Morocho Jonathan, 2020.

Se procede a calcular el volumen y la densidad de cada tipo de pastillas de freno, obteniendo los resultados mostrados en la Tabla 5-1.

**Tabla 5-1:** Masa, volumen y densidad de las pastillas de freno.

PASTILLA	MASA (gr)	VOLUMEN (cm <sup>3</sup> )	DENSIDAD (gr/cm <sup>3</sup> )
Asbesto	41,7676	20,625	2,025
Carbón	45,5272	24,375	1,867
Cerámica	34,4970	17,529	1,970
Metálica	53,4154	16,875	3,170

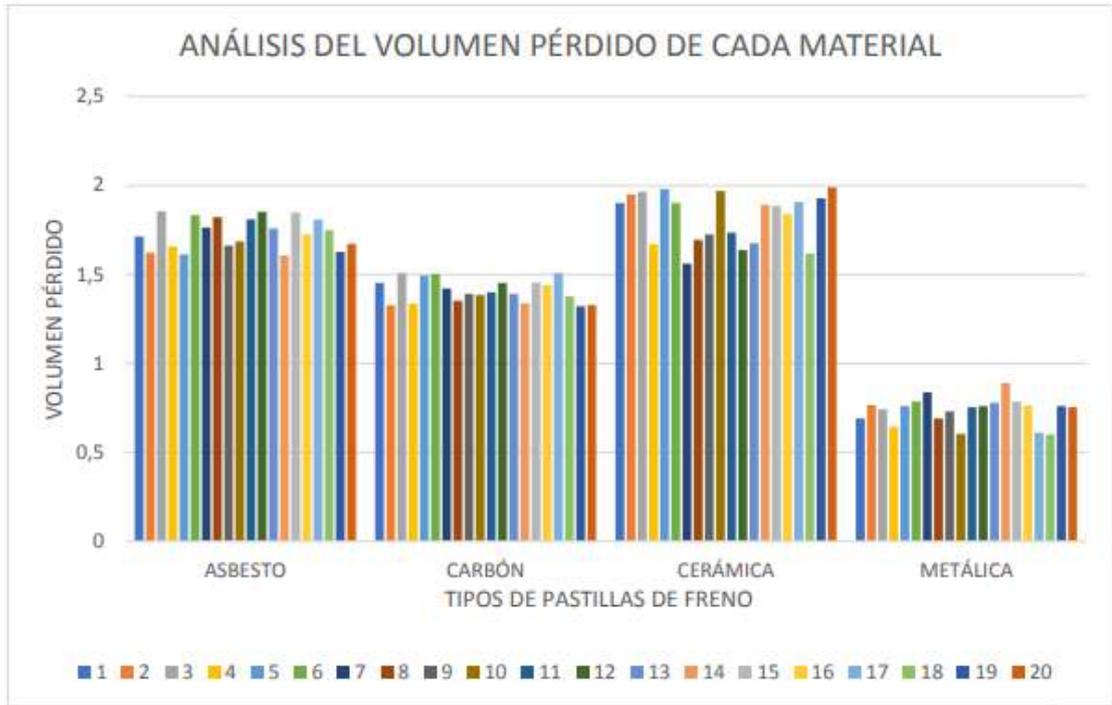
**Fuente:** Álvarez; & Narváez 2020.

**Realizado por:** Guanoluiza Daniel y Morocho Jonathan, 2020.

Luego de haber concluido las pruebas en la máquina de ensayos de desgaste abrasivo se procedió a realizar el pesaje para comprobar el desgaste que sufrió cada una de las diferentes pastillas de frenos a analizar (Álvarez; & Narváez, 2020, p. 84-97). ANEXO F.

(Álvarez; & Narváez, 2020, p. 84-97) representan los datos de pérdida de masa obtenidos en pérdida de volumen como se muestra en el ANEXO G.

Con los valores obtenidos de pérdida de volumen de cada tipo de pastilla de freno se pudo realizar el Gráfico 8-1 para poder apreciar de mejor manera el desgaste sufrido por cada material (Álvarez; & Narváez, 2020, p. 84-97).



**Gráfico 8-1:** Análisis en barras del volumen perdido de cada material en cm<sup>3</sup>

Fuente: Álvarez; & Narváez 2020.

Para poder representar el desgaste en porcentaje se realizó el promedio de masa inicial, masa final, masa pérdida y el volumen perdido como se indica en la Tabla 6-1, para ello fue necesario calcular el volumen promedio inicial y el volumen promedio final de cada probeta (Álvarez; & Narváez, 2020, p. 84-97)

**Tabla 6-1:** Promedio de volumen perdido de las diferentes pastillas de freno.

PASTILLA	PROMEDIO VOLUMEN INICIAL	PROMEDIO VOLUMEN FINAL	PROMEDIO VOLUMEN PERDIDO
Asbesto	20,625 cm <sup>3</sup>	18,916 cm <sup>3</sup>	1,709 cm <sup>3</sup>
Carbón	24,375 cm <sup>3</sup>	22,976 cm <sup>3</sup>	1,409 cm <sup>3</sup>
Cerámica	17,529	15,679	1,85
Metálica	16,875	16,177	0,7

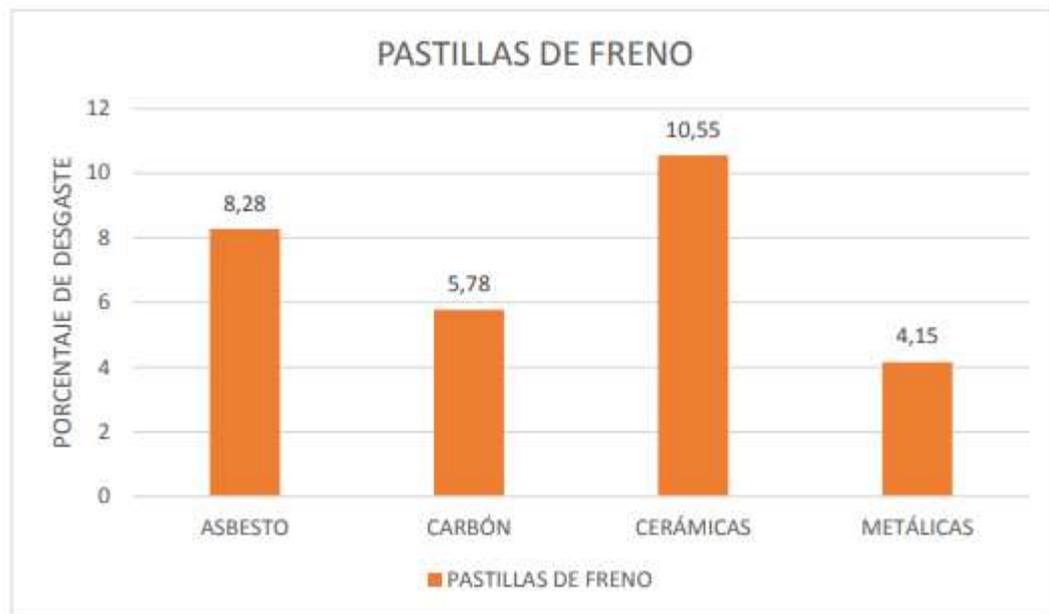
Fuente: (Álvarez; & Narváez 2020)

Realizado por: Guanoluiza Daniel y Morocho Jonathan, 2020.

Utilizando la formula siguiente:

$$\% \text{ desgaste} = \frac{\text{Volumen Inicial} - \text{Volumen Final}}{\text{Volumen Inicial}} * 100$$

Se calcula el porcentaje de desgaste que sufrió cada pastilla de freno, obteniendo los resultados mostrados en el Gráfico 9-1



**Gráfico 9-1:** Porcentaje de desgaste de cada tipo de pastilla de freno.

Fuente: (Álvarez; & Narváez 2020)

(Álvarez; & Narváez, 2020, p. 84-97) concluyen que, con los ensayos realizados a los tipos de pastillas de freno se puede afirmar que las pastillas metálicas son más resistentes a la abrasión teniendo un 4,14% de desgaste mientras que las pastillas de freno de cerámica y de carbón presentan un 10,55% y 5,78% respectivamente; por esta razón son más recomendables para vehículos que están sometidos a largos períodos de trabajo; las pastillas de carbón disponen de una resistencia a la abrasión intermedia y pueden ser utilizadas en vehículos de uso personal o de servicio teniendo presente también el inconveniente del desprendimiento de material de color oscuro que se adhiere a los elementos aledaños al sistema de frenos. Las pastillas de freno cerámicas a pesar de su rendimiento superior con respecto a las demás disponen de una resistencia a la abrasión inferior por lo que su mantenimiento es más prematuro y por esta razón se las utiliza en vehículos para competición o vehículos condicionados a mantenimientos más continuos.

El estudio realizado por (Zambrano; & Viláñez 2018) sobre el “**Análisis del desgaste de pastillas de frenos en comparativa entre 2500 metros de altura y a nivel del mar**”, en el cual se pone a prueba cuatro pastillas de freno, usando un banco de pruebas, a distintas alturas sobre el nivel del mar.

Para el proceso se debe tener en cuenta las condiciones atmosféricas tal como se muestra en la Tabla 7-1.

**Tabla 7-1:** Condiciones atmosféricas: (a) 2500 msnm, (b) a nivel del mar

<b>a 2500 metros</b>		<b>a nivel del mar</b>	
<b>temperatura</b>	22 °C	<b>temperatura</b>	27 °C
<b>humedad relativa</b>	83%	<b>humedad relativa</b>	87%
<b>presión atmosférica</b>	1012 [hPa]	<b>presión atmosférica</b>	1025 [hPa]

(a) (b)

**Fuente:** (Zambrano; & Viláñez 2018)

**Realizado por:** Guanoluiza Daniel y Morocho Jonathan, 2020.

Se realizó la medición de masa inicial de las cuatro pastillas de las mismas características, para proceder con las pruebas. La Tabla 8-1 muestra la diferencia de masa, de las pastillas de freno, sufrido durante la prueba a 2500 msnm y a nivel del mar (Zambrano; & Viláñez 2018, p. 17-20).

**Tabla 8-1:** Pruebas a: (a) 2500 msnm, (b) nivel del mar.

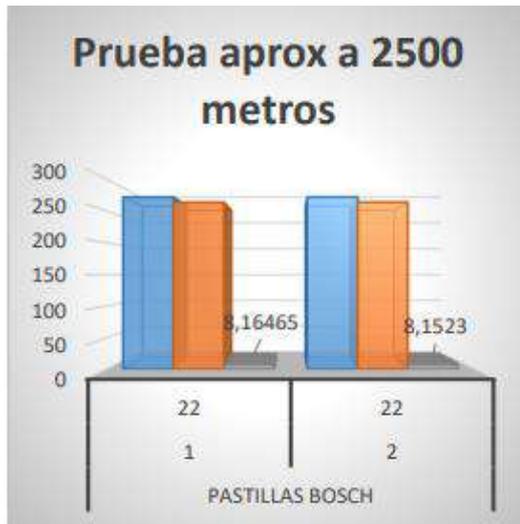
<b>Prueba aprox a 2500 metros</b>	<b>Pastillas Bosch</b>		<b>Prueba a nivel del mar</b>	<b>Pastillas Bosch</b>	
<b>Muestra</b>	1	2	<b>Muestra</b>	3	4
<b>Temperatura ambiente (°C)</b>	22°	22°	<b>Temperatura ambiente (°C)</b>	27°	27°
<b>Masa inicial (g)</b>	272,1554	272,181	<b>Masa inicial (g)</b>	272,154	272,156
<b>Masa final (g)</b>	263,9908	264,029	<b>Masa final (g)</b>	262,704	263,166
<b>Diferencia de masa (g)</b>	8,1646	8,152	<b>Diferencia de masa (g)</b>	9,45	8,99

(a) (b)

**Fuente:** Zambrano; & Viláñez 2018.

**Realizado por:** Guanoluiza Daniel y Morocho Jonathan, 2020.

En el Gráfico 10-1 (a) se puede apreciar que la pérdida de material por desgaste equivale a un 3% en las dos muestras a 22 grados centígrados, mientras que el Gráfico 10-1 (b) muestra la pérdida de material por desgaste equivale a un 3.5 % en la muestra número 3, y un 3% en la muestra número 4 a 27 grados centígrados para las dos muestras (Zambrano; & Viláñez 2018, p. 17-20).



(a)



(b)

**Gráfico 10-1:** Pruebas a: (a) 2500 msnm, (b) nivel del mar.

**Fuente:** (Zambrano; & Viláñez 2018)

**Realizado por:** Guanoluiza Daniel y Morocho Jonathan, 2020.

En la Tabla 9-1 se puede observar que el desgaste es mayor a nivel del mar que a 2500 metros, en comparación la muestra número 1 con la muestra número 3 el desgaste a nivel del mar se incrementa un 0.5%, y la muestra número 2 con la muestra número 4 se incrementa un 0.3% (Zambrano; & Viláñez 2018, p. 17-20).

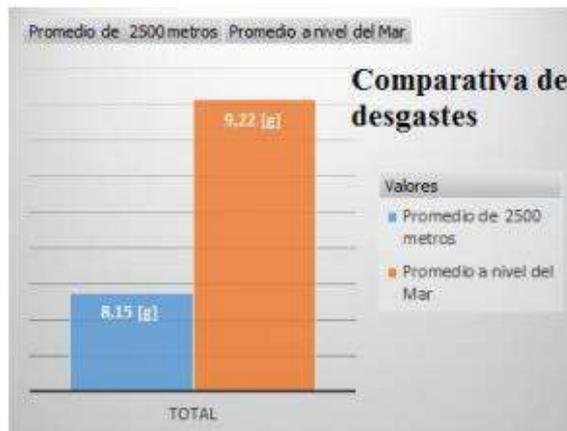
**Tabla 9-1:** Comparativa de desgaste.

Altura	Desgaste
a 2500 metros	815 [g]
a nivel del mar	9,22 [g]

**Fuente:** (Zambrano; & Viláñez 2018)

**Realizado por:** Guanoluiza Daniel y Morocho Jonathan, 2020.

En el Gráfico 11-1 se puede apreciar la variación en el desgaste de las pastillas en promedio en dos muestras se llega a incrementar el desgaste un 0.39 % más a nivel del mar (Zambrano; & Viláñez 2018, p. 17-20).



**Gráfico 11-1:** Comparativa de desgaste.  
**Fuente:** (Zambrano; & Viláñez 2018)

(Zambrano; & Viláñez 2018, p. 17-20). concluyen que a partir de los resultados obtenidos y el análisis de los ensayos se determina que el desgaste se incrementa un 0.4% a nivel del mar con respecto a 2500 metros, este incremento es provocado por los diferentes tipos de desgaste que sufren las muestras como: desgaste por adhesión, desgaste por abrasión, desgaste por fatiga, desgaste por corrosión, siendo los desgastes por adhesión y por fatiga iguales en las dos condiciones de los ensayos, pero el desgaste por abrasión y corrosión son mayor a nivel del mar debido a su temperatura y humedad.

### 1.6. Impacto ambiental por partículas de polvo

La cantidad de polvo negro observadas en los neumáticos y en las mordazas de freno al final de cada frenada realiza una destrucción mutua de disco y pastilla la cual se desgastan y producen polvo cae en un impacto ambiental que según (Murias, 2021). En estudios realizados por comisión europea mostro que los frenos emiten “emiten entre “el 16 y el 55%” de las partículas con un diámetro inferior a 10 micrómetros (PM 10) relacionadas con el tráfico.” Que el polvo cae o el mesclado en el aire llegando a contaminar el ambiente.

### 1.7. Composición de compuesto de pastillas de freno

Las primeras pastillas de freno fueron en base de asbesto que hacen unos años atrás fueron suspendidas por el grado de toxicidad al ser humano y ambiente, actualmente pastillas tienen 3 tipos de compuestos comercialmente los cuales se dividen en 3.

El primer compuesto son los orgánicos sin amianto actualmente se usan otro tipo de compuesto en bases de resinas, fibra de vidrio, caucho las ventajas con menos ruidosas y un mayor despeño de frenado en frío.

El segundo compuesto es semimetálico o metálicas, contienen cobre acero, hierro y otros metales su porcentaje de metal contenido depende del fabricante lo cual lo convierte en un metálico o semimetálico su ventaja es un mayor desempeño de frenada en altas temperaturas y su desventaja es el ruido al realizar la frenada.

El tercer compuesto son las cerámicas usan compuesto de cerámicos y fibras de cobre, ofreciendo una mayor durabilidad menos polvo y menor ruido.

### ***1.7.1. Composición Química***

Para el estudio de la composición química, básicamente la espectrofotometría de absorción atómica (AA), consiste en medir absorción de energía de un haz de radiación electromagnética en el rango ultravioleta-visible transmitido a través de la muestra previamente atomizada generalmente por una llama, de modo que los electrones de los átomos pueden ser promovidos a orbitales más altos por un instante mediante la absorción de una cantidad específica de energía proporcionada por el haz incidente (Skoog et al., 2001, p.140). El metal presente en cada pastilla de freno de su respectiva marca a través de una espectrometría por fluorescencia de rayos X, hay que recalcar que análisis es metálico no incluye sus composiciones orgánicas como las fibras, cargas minerales, componentes metálicos, lubricantes o modificadores, materiales orgánicos, abrasivos (López, 2013, p.10).

### **1.8. Dureza**

Es una propiedad mecánica, es importante para muchas aplicaciones en ingeniería, ya que una alta dureza en un material está relacionada tanto a una alta resistencia a rayadura y a desgastes, como a la habilidad de dicho material para soportar las deformaciones plásticas. Además, la dureza es una medida de ductilidad y también es una medida cualitativa de la resistencia de un material, ya que los más duros desgastan a los más suaves (Castrillón & Manrique, 2017, p.6).

Los ensayos de dureza se dividen de acuerdo con su magnitud de carga aplicada tenemos 2 grupos los cuales son:

Macro dureza: cuando la carga aplicada es mayor a 1000 gf (9.8 N) sus escalas; Rockwell, Brinell y Vickers, los más usados en las industrias de los metales dentro de Rockwell varían escalas (A, B, C, etc).

Micro dureza: cargas aplicadas entre 1 a 1000 gf. Se usan para analizar materiales que nos soportan altas fuerzas localizadas sus escalas son en Vickers o Knoop.

### **1.9. Gravedad específica**

La gravedad específica es la razón del peso de una sustancia al peso específico del agua a 4°C, sin embargo las propiedades de los fluidos varían con la temperatura. En general la densidad y por lo tanto el peso específico disminuyen con el aumento a la temperatura (Mott, 2006, p.30).

### **1.10. Estabilidad dimensional**

Se refiere a la capacidad que tienen para mantener su tamaño, incluso en situaciones con ambientes cambiantes. En otras palabras, cuando un polímero posee dimensiones estables tiene baja absorción de humedad y baja dilatación térmica. (aceromafe, 2021).

### **1.11. Deformación por corte**

Una sección de un prisma mecánico está sometida a cortadura cuando, al realizar un corte del sólido por dicha sección recta. La resultante de la parte eliminada se reduce a una fuerza contenida en el plano de la sección a esta fuerza se le denomina esfuerzo cortante (Galdon et al., 2013).

### **1.12. Deformación por compresión**

La deformación en la dirección de la fuerza perpendicular aplicada a la sección se produce una contracción de las dimensiones laterales o bien de una expansión dependiendo que este se traccione o se comprime estas deformaciones se podrían llamar deformaciones indirectas o deformaciones transversales llaga a la conclusión de que existe una relación entre la deformación axial y las deformaciones laterales, el efecto de deformación transversal no produce ninguna tensión adicional en esta dirección a no ser que dicha deformación este restringida, en cuyo caso si aparecerán tensiones trasversales (Romero, et al., 2002, p.97).

### **1.13. Normativa de comercialización**

Bajo la revisión de la subsecretaría de calidad del ministerio de las industrias y productividad, de acuerdo con la institución INEN (Instituto ecuatoriano de normalización), cuya entidad nacional encargada de formular las Normas Técnicas Ecuatorianas teniendo como concepto básico satisfacer las necesidades locales y facilitar el comercio nacional e internacional. En sus catálogos de normas para la comercialización de pastillas de freno expone la norma descrita NTE INEN 2185, referente a materiales de fricción para el sistema de frenos de automotores. Requisitos y métodos de ensayos, la cual establece los requisitos que deben cumplir y los ensayos a los cuales

se deben someter el material de fricción empleado en los sistemas de frenos de vehículos automotores.

## **1.14. Desgaste**

(Torres 2012, p. 2) menciona que el desgaste no es más que un concepto general y muy complejo, resultado de la heterogénea actuación de procesos físico-químicos, que se manifiestan en el cambio de las medidas y la masa de los elementos de máquinas, lo cual constituye un problema tanto para la industria como para cualquier otro sector en el cual pueda aparecer dicho fenómeno. Por otro lado (Linares 2003, p. 41) dice que el desgaste es el daño de la superficie o la remoción de material de una o ambas superficies sólidas en movimiento relativo, ya sea por deslizamiento, rodadura o impacto. (Díaz 2007, p. 13) define el desgaste como una pérdida de material de la interfase de dos cuerpos, cuando se les ajusta a un movimiento relativo bajo la acción de una fuerza.

### ***1.14.1. Tipos de desgaste***

**Deslizamiento Rozamiento metal-metal:** Ocurre como consecuencia de un movimiento relativo entre dos superficies en contacto y se manifiesta por pérdida de forma y desprendimiento de virutas. Cuando se intenta deslizar una sobre la otra aparece una fuerza de fricción que trata de evitar el movimiento causado por la deformación de las asperezas en contacto (Torres 2012, p. 5).

La velocidad de desgaste es función de un gran número de factores de los cuales los más importantes son:

- Cargas actuantes
- Velocidad
- Temperatura
- Área de contacto real
- Limpieza de superficies

**Rodadura Fatiga por contacto:** Resultado de un constante esfuerzo mecánico de la superficie de un cuerpo que rueda sobre otro. El desgaste ocurre entre ambas superficies. Se presenta comúnmente en elementos de máquinas sujetos a contactos por rodadura tales como rodamientos, ruedas y engranajes (Torres 2012, p. 6-7).

Este fenómeno está sujeto a un período de incubación anterior a la aparición del daño superficial. Los primeros síntomas suelen ser:

- Aparición de un ruido progresivo

- Aumento progresivo de calor en la zona de la rodadura
- Vibraciones en zonas de precisión
- Aparición de fragmentos producto del desgaste
- Aparición de irregulares picaduras en las superficies de los rodamientos

Impacto: Se produce por transferencia de energía cinética de un cuerpo simple sobre una superficie de extensión apreciable. Produce deformación superficial y subsuperficial del material que altera su forma y dimensión lo que puede devenir en la fractura por fatiga debido a los impactos repetidos (Torres 2012, p. 6).

Corrosión: La corrosión de los metales se produce por un proceso químico y electroquímico. La actividad corrosiva de la sustancia destructora depende de factores que influyen sobre el transcurso de la reacción química: temperatura, presión y concentración del factor corrosivo. La corrosión puede ser también consecuencia de factores tales como la no homogeneidad química y la estructura de la aleación (Torres 2012, p. 6).

Abrasión: (Torres 2012, p. 10) menciona que se considera abrasivo el desgaste que sufre la superficie de un metal bajo la acción de partículas abrasivas, que en forma continua rozan dicha superficie, y se provoca un desprendimiento gradual de partículas de la superficie desgastada por la fricción de estas partículas abrasivas. Es la solicitación del rayado, o arranque de micro virutas, por el cuerpo de base o el cuerpo contrario o por productos de reacción o partículas sólidas del medio intermedio (BOSCH 1996, p. 323).

Se puede clasificar al desgaste abrasivo en:

- Desgaste abrasivo de baja presión
- Desgaste abrasivo de alta presión
- Desgaste abrasivo con impacto

Adhesión: Formación y separación de uniones (atómicas) por adhesión de superficie límite. Se produce transferencia de material cuando la separación no transcurre exactamente a lo largo de la línea original limítrofe entre el cuerpo de base y el contrario. La adhesión, que inicialmente transcurre en dimensiones atómicas, puede incrementarse hasta el fallo total por “gripado” (bloqueado por agarrotamiento) (BOSCH 1996, p.323).

Erosión: Es la pérdida de material como resultado del impacto repetido de pequeñas partículas. Ocurre cuando partículas duras son atrapadas en un medio líquido o gaseoso que hace impacto sobre un sólido a una velocidad significativa (Torres 2012, p.7).

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO METODOLÓGICO

#### 2.1. Método de la investigación.

Para el análisis del desgaste de frenos debe considerar los factores como su composición, resistencia a la deformación, resistencias a la compresión, estabilidad dimensional, gravedad específica y un prueba de conducción para evaluar su desgaste, para estos ensayos se basa en la norma INEN 2 185:2010, el ensayo de coeficiente de fricción que se realiza en la norma no se pudo realizar por motivo de dificultad de los accesos a los equipos, para poder seguir la norma se tomó del mismo lote las muestras.

##### *1.1.1. Método Inductivo.*

“El método inductivo plantea un razonamiento ascendente que fluye de lo particular o individual hasta lo general. Se razona que la premisa inductiva es una reflexión enfocada en el fin.” (Abreu 2014, pp.195 - 204).

Se visualizará el desgaste en las pastillas de freno alternas como FMX con la utilización de instrumentos de medición con el fin de obtener valores estadísticos para determinar el desgaste.

##### *1.1.2. Método deductivo.*

“El método deductivo que relaciona tres momentos de la deducción: 1) Axiomatización (1er principio) se parte de axiomas; verdades que no requieren demostración, 2) Postulación se refiere a los postulados, doctrinas asimiladas o creadas y 3) Demostración, referido al acto científico propio de los matemáticos, lógicos, filósofos.” (Dávila 2012, pp.108-204).

Deductivo con la ayuda de un análisis estadístico se establece los factores principales en el desgaste de las pastillas de freno, así se pueda determinar su rendimiento.

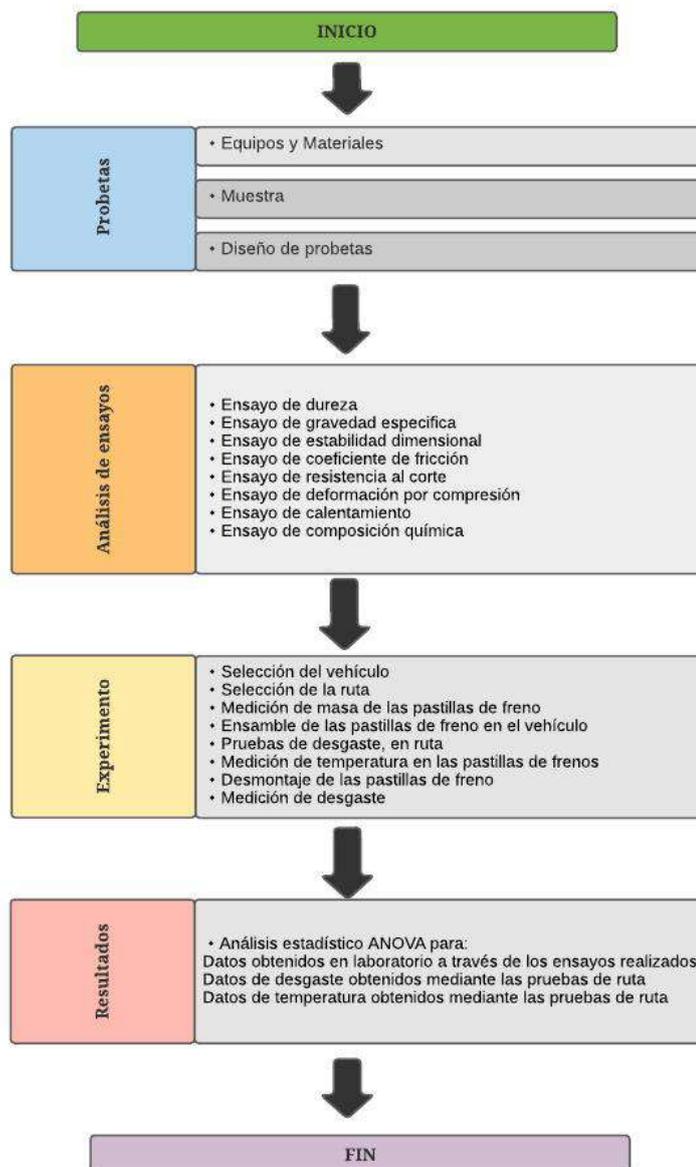
##### *2.1.1. Experimentación.*

La experimentación analítica, propiamente dicha, es aquella que pone a punto nuevos sistemas de análisis, instrumentos y/o métodos, para descubrir la composición química de los elementos existentes en un compuesto así lo menciona (Cegarra, p.9) de esta forma la elaboración de pruebas

controladas a partir de la norma INEN 2185: 2010, para la cual se tomará ciertos requisitos de esta para determinar los factores de análisis y desgaste de las pastillas de freno.

### Etapas de la investigación.

La siguiente ilustración muestra un diagrama de flujo del proceso a realizar, consta de cuatro etapas las cuales son; diseño de probetas, análisis de ensayos, prueba de ruta, comparación de resultados, se han desarrollado subetapas, las cuales en su proceso de realizar en cuanto avancen cada etapa.



**Figura 1-2:** Metodología a utilizar

Realizado por: Guanoluiza Daniel y Morocho Jonathan, 2020.

### ***1.1.3. Equipos y materiales***

Los equipos y materiales para utilizar se describen en cada ensayo y experimentación a lo largo del capítulo II.

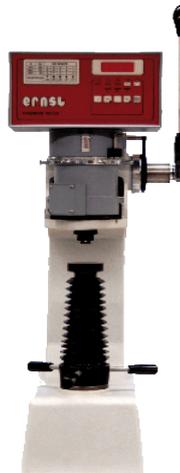
## **2.2. Análisis de los ensayos**

Para el estudio de las variables que causan el desgaste una pastilla de freno referente a la otra, se ha tomado el diseño no experimental como es el análisis de rayos X, la cual nos muestra la cantidad de metal presente en las pastillas, segundo la norma INEN 2185;2012, la cual, establece los requisitos que debe cumplir y los ensayos a los cuales debe someterse el material de fricción empleado en los sistemas de frenos de los vehículos automotores. (INEN 2185, 2012), la que recae a los revestimientos de las pastillas de frenos.

Para cumplir en con la norma establecida, se ha tomado la muestra con el mismo código del lote de pastillas para cada marca, con un tamaño de muestra de 4, y se verifico de proveedor que cumplan la normativa INEN 2185;2012 que se encuentra vigente.

La norma tiene varios requisitos para cumplirlo lo cuales se detallan a continuación,

### ***2.2.1. Ensayo de dureza***



**Figura 2-2:** Durómetro de mesa Ernest

**Realizado por:** Tecmicro, 2019.

Para el determinar la dureza de la pastilla de freno se tomó a partir de la norma NTE INEN -ISO 6508-1 como alternativa, la cual menciona “Se mide la profundidad  $h$  de la huella que ha

quedado en la superficie bajo la fuerza preliminar de ensayo, después de retirar una fuerza adicional de ensayo” (NTE INEN-ISO 6508-2, 2014, p. 6). Se realizó en un Durómetro de la marca ERNST, bajo el ensayo de dureza Brinell como alternativo, calibrado con la serie RG-AM-003. Se realizó en los laboratorios del centro de fomento productivo metalmeccánico carroceros el cual en su informe indicando que la probeta 060375147020201214-EDR 01 pertenece a la pastilla de la marca IMFRISA con 3 mediciones en diferentes puntos, mostrado en la tabla 1-2. Con diámetro de indicador de 12.7 mm el tiempo de fuerza de 10 s con una fuerza aplicada de 588.4 N determinado con una escala de Brinell, De la misma forma la probeta 060375147020201214-EDR 02 pertenece a la pastilla de la marca FMX realizado 3 mediciones en diferentes puntos. El informe pertenece al anexo B y los resultados se indican en la tabla 2-2.

**Tabla 1-2:** Resultados Dureza Brinell IMFRISA

Probeta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dureza Rockwell R	
				Puntos	Medición
1	060375147020201214-EDR 01	21,8	58,5	1	107,7
				2	113,4
				3	112,4
				Promedio	111,167
				Desviación estándar	60,927
				Coefficiente de variación	54,806

**Realizado por:** Guanoluiza Daniel y Morocho Jonathan, 2020.

**Tabla 2-2:** Resultados Dureza Brinell FMX

Probeta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dureza Rockwell R	
				Puntos	Medición
2	060375147020201214-EDR 02	21,7	58,9	1	88,4
				2	92,2
				3	88,5
				Promedio	89,7
				Desviación estándar	49,155
				Coefficiente de variación	54,799

**Realizado por:** Guanoluiza Daniel y Morocho Jonathan, 2020.

### 2.2.2. Ensayo de gravedad específica

Ensayo no destructivo que se utiliza para comprobar la consistencia de la formulación en la fabricación de los elementos de fricción de automotores, (INEN 2185, 2012, p.6).

Constituye de una balanza de exactitud de 0.01g, la cual se coloca la muestra separada de su soporte metálico de 50 g a ensayar se realiza 3 mediciones y determinar su masa en el aire, posteriormente en un recipiente de agua destilada a una temperatura entre los 20°C y 25°C, con un volumen que la bandeja no toque las paredes del mismo. Esta se debe sumergir completamente y tomar las medidas en menos de 15s de la misma forma 3 mediciones.



**Figura 3-2:** Medición del peso de un fragmento de pastilla

**Realizado por:** Guanoluiza Daniel y Morocho Jonathan, 2020.

Se construyó la balanza de forma alternativa, compuesto por una estructura de alambre sólido, con el fin de ser maleable, resistente a pandeo y liviano para ser colocarlo sobre una balanza digital de 0.01 g de exactitud cumpliendo con lo pedido en la norma, para su calibración es automática con el botón integrado “tare” así obteniendo la medida deseada sin influir la estructura.



**Figura 4-2:** Corte de las pastillas en 50 g de las FMX y IMFRISA

**Realizado por:** Guanoluiza Daniel y Morocho Jonathan, 2020.

En la toma de medidas su peso al aire y posteriormente su peso en agua destilada a 20°C en menos de 15s, se calcula su gravedad específica con la siguiente fórmula propuesta por norma, con un resultado adimensional que se representa en porcentaje que no supere el 5% del material de fricción.

$$G = \frac{A}{(A - B)}$$

Donde:

G: Gravedad específica

A: Peso en aire

B: Peso en agua

**Tabla 3-2:** Registro del peso de las muestras de 50 g

<b>IMFRISA</b>	<b>Masa Aire</b>	<b>Masa Agua</b>	<b>Gravedad Especifica</b>
1	50,85	31,97	2,69
2	51,11	31,77	2,64
3	50,31	31,39	2,66
x	50,76	31,71	<b>2,67</b>
<b>FMX</b>			
1	50,2	27,95	2,26
2	50,12	28,69	2,34
3	50,28	28,72	2,33
x	50,2	28,45	<b>2,31</b>

**Realizado por:** Guanoluiza Daniel y Morocho Jonathan, 2020.

### **2.2.3. Ensayo de estabilidad dimensional**

Para el desarrollo de este ensayo destructivo se utiliza un micrómetro con una exactitud de 0.01mm y un horno que alcance una temperatura de 200 °C con una variación de 5°C, con una muestra por cada espécimen, primero se mide en seis puntos localizados entre 12.7 mm y 19 mm del borde a ensayar.

El procedimiento es colocar la muestra a temperatura ambiente y posteriormente aumentar hasta los 200°C en un lapso de 30 min y 60 min, y dejar a esa temperatura por espacio de 30 a 40 min. (INEN 2185, 2012, p 8).



**Figura 5-2:** Marcado, medición y comprobación de temperatura; Pastilla FMX

**Realizado por:** Guanoluiza Daniel y Morocho Jonathan, 2020.

En la marca FMX, de la Figura 5-2 en zona interna marcada, registrando con un micrómetro de exactitud 0.01 mm de 6 puntos diferentes a temperatura ambiente y registradas en la tabla 4-2, al cumplir el ensayo a 200°C se lo realizo en un horno domestico medido y comprobado con un termómetro infrarrojo se inspeccionan las medidas en los mismos puntos a temperatura ambiente con los valores registrados.

**Tabla 4-2:** Registro de espesor a temperatura ambiente y después del ensayo

FMX		
No	FRIO	CALIENTE
1	16,79	16,73
2	16,77	16,69
3	16,78	16,68
4	16,8	16,76
5	16,82	16,75
6	16,8	16,78

**Realizado por:** Guanoluiza Daniel y Morocho Jonathan, 2020.

Como resultado final juntamente con las medidas inscritas, menciona la norma realizar una verificación visual de la superficie de las pastillas como resultado existe unos poros mostrando en la Figura 6-2.



**Figura 6-2:** Superficie de las pastillas FMX

**Realizado por:** Guanoluiza Daniel y Morocho Jonathan, 2020.



**Figura 7-2:** Marcado, medición y comprobación de temperatura; Pastillas IMFRISA

**Realizado por:** Guanoluiza Daniel y Morocho Jonathan, 2020.

En la marca IMFRISA de la misma manera se realiza bajo las mismas condiciones del ensayo toman las 6 medidas en los puntos seleccionados y registrados en la tabla 5-2.

**Tabla 5-2:** Registro de espesor a temperatura ambiente y después del ensayo

IMFRISA		
N°	FRIO	CALIENTE
1	16,58	16,59
2	16,6	16,58
6	16,64	16,61
4	16,6	16,62
5	16,64	16,79
6	16,63	16,82

**Realizado por:** Guanoluiza Daniel y Morocho Jonathan, 2020.

Al igual que la otra pastilla se realiza una inspección visual de la superficie de la pastilla como resultado se exhibe unos gránulos sobresaltando el área.



**Figura 8-2:** Superficie de las pastillas IMFRISA

Realizado por: Guanoluiza Daniel y Morocho Jonathan, 2020.

#### ***2.2.4. Ensayo de resistencia al corte***

Para el desarrollo del ensayo se realizó bajo la norma ISO 6311, la norma menciona que genera esfuerzo cortante los materiales que constituyen el revestimiento de las pastillas de frenos de disco, la cual resistencia al cortante interno, es relación de esfuerzo cortante en la superficie del área bajo tensión y fuerza cortante: Fuerza ejercida verticalmente sobre la almohadilla, o empaque, que produce la cizalla, (NTE INEN-ISO 6311, 2012, p 3).



**Figura 9-2:** Maquina de universal

Realizado por: ESPOCH, 2020.

Para el desarrollo de la norma el tamaño de muestra es de 5 por cada espécimen con cortes de 20 x 20 mm, para llevar a cabo su medición se realizó uno accesorio fabricado de platina con un espesor de 10 mm de 5 x 20 cm, y 2 platinas de 6 mm de espesor de 7 x 10 cm, y la platina de 10 mm de espesor de 7 x 7 cm. Para el desarrollo del ensayo se aplica cargas de 500 N/s a 4500 N/s.



**Figura 10-2:** Accesorio de corte

**Realizado por:** Guanoluiza Daniel y Morocho Jonathan, 2020.

Se realizan 5 muestras como mínimo y serán escogidas para el ensayo su cara plana donde se incitará el esfuerzo cortante, las probetas deber ser planas y bajo las mediciones de la norma ISO 6311, se procedió a cortarlas y calcular su área transversal al eje paralelo al área de esfuerzo sometido, tanto para la marca IMFRISA Y FMX.

**Tabla 6-2:** Dimensiones de las probetas

Largo	20 mm + 0.1 mm
Ancho	20 mm + 0.1 mm
Espesor	10mm + 0.1 mm

**Realizado por:** Guanoluiza Daniel y Morocho Jonathan, 2020.

El cálculo del área se realizó con un calibrador de precisión de 0.05 mm en su sección transversal paralelo al eje del esfuerzo.



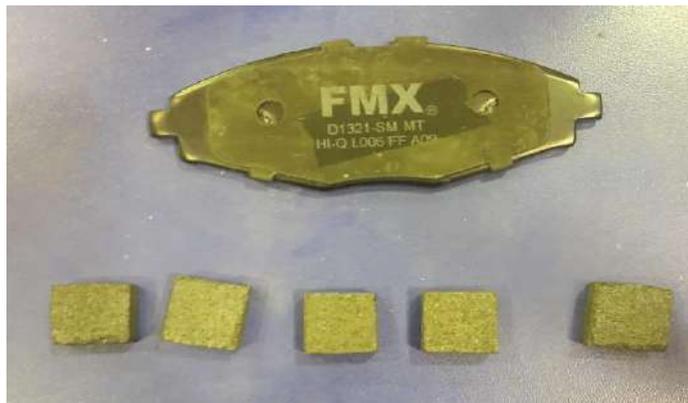
**Figura 11-2:** Probetas de la marca IMFRISA

**Realizado por:** Guanoluiza Daniel y Morocho Jonathan, 2020.

**Tabla 7-2:** Resultados del ensayo de corte IMFRISA

Probeta	Área transversal (mm <sup>2</sup> )	Carga aplicada (N)	Fuerza interna de corte (N/mm <sup>2</sup> )
1	396,1	3.370	8,508
2	404,01	5787,36	14,325
3	398	3684,75	9,258
4	403,05	4.680,65	11,613
5	396,01	4913,63	12,408

**Realizado por:** Guanoluiza Daniel y Morocho Jonathan, 2020.



**Figura 12-2:** Probetas de la marca FMX

**Realizado por:** Guanoluiza Daniel y Morocho Jonathan, 2020.

**Tabla 8-2:** Resultados del ensayo de corte FMX

Probeta	área transversal (mm <sup>2</sup> )	carga aplicada (N)	fuerza interna de corte (N/mm <sup>2</sup> )
1	401,8	2042,84	5,084
2	404,01	2721,01	6,735
3	403,05	2042,84	5,068
4	402	2196,78	5,465
5	396,01	2246,7	5,673

Realizado por: Guanoluiza Daniel y Morocho Jonathan, 2020.

### 2.2.5. Ensayo de deformación por compresión.

En el desarrollo del ensayo se basó bajo la norma ISO 6310, la cual consiste en una prueba de deformación compresiva, según la norma Internacional especifica un método para probar y medir la compresibilidad de las pastillas de freno. ( NTE INEN-ISO 6310, 2009, p. 1), para el procesos del ensayo se necesita de una placa calefactora que alcance una temperatura máxima de 400°C la cual se fabricó en 2 platinas como base de 20 x 20 cm con un espeso de 10 mm.

- *ciclo del ensayo temperatura ambiente*

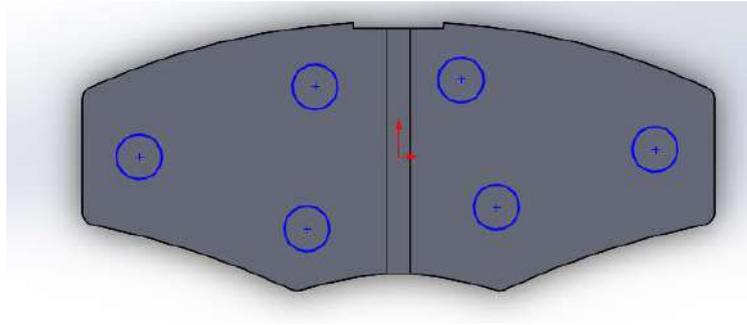
Primero se medirán en varios puntos sobre la superficie de la pastilla de esta manera se medirá el espesor posteriormente se colocará sobre la placa a temperatura ambiente, se iniciará con una presión de 500 kpa, aumentar a 4000, 6000, 8000 kpa realizar la carga compresiva 5 veces se realizaran en 1 muestras de cada espécimen a temperatura ambiente (25°C +- 5°C) a un presión de 0 Kpa a 8000 Kpa en un tasa de aumento de 4 KN s-1.



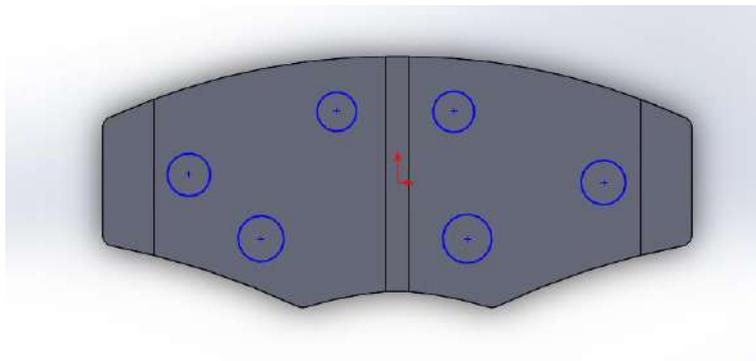
**Figura 13-2:** Aplicación de carga sobre las pastillas

Realizado por: Guanoluiza Daniel y Morocho Jonathan, 2020.

Para este apartado del ensayo se necesita 3 muestras de cada marca de pastillas la cual se denomina los puntos de medición tomados en se ilustran y sus medidas son:



**Figura 14-2:** Marcado de los puntos de medición de espesor de la IMFRISA  
**Realizado por:** Guanoluiza Daniel y Morocho Jonathan, 2020.



**Figura 15-2:** Marcado de los puntos de medición del espesor de la FMX  
**Realizado por:** Guanoluiza Daniel y Morocho Jonathan, 2020.

#### 2.2.5.1. Ensayo de calentamiento.

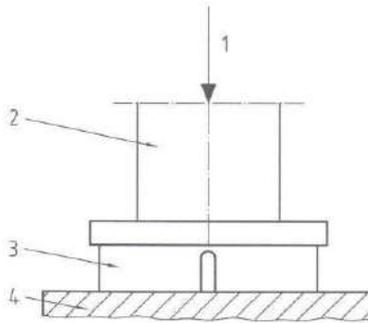
Para la placa calefactora, se debe obtener una temperatura de 200 °C aplicar un pre carga de 500 kpa y mantener por 10 min posteriormente, realizarlo a 400°C por 10 min, (Standard 2009, pp 5,6,7).



**Figura 16-2:** Placa calefactora eléctrica  
**Realizado por:** Guanoluiza Daniel y Morocho Jonathan, 2020.

- *Muestra*

El tipo de muestra para el ensayo que menciona la norma es del tipo II, describe de la pastilla de freno sin placa de respaldo sobre la placa de calentamiento la cual se aprecia en la figura17-2.



**Figura 17-2:** Muestra tipo II

Realizado por: NTE INEN ISO6310,2009.

**Tabla 9-2:** Ensayo deformación a 22.5°C y 400°C aplicando fuerzas de 4,6,8 N

FMX		Fuerza (N)		
		4	6	8
FRIO	Probeta 1	0,00057663	0,00071942	0,00056988
	Probeta 2	0,00019438	0,00013215	0,00009196
	Probeta 3	0,00044129	0,00055922	0,0005895
CALIENTE	Probeta 1	0,00192088	0,00182226	0,00086
	Probeta 2	0,00020446	0,0026905	0,00041311
	Probeta 3	0,00270382	0,00030976	0,00041737

Realizado por: Guanoluiza Daniel y Morocho Jonathan, 2020.

**Tabla 10-2:** Ensayo deformación a 22.5°C y 392°C aplicando fuerzas de 4,6,8 N

IMFRISA		Fuerza (N)		
		4	6	8
FRIO	Probeta 1	0,03609196	0,03655958	0,04069178
	Probeta 2	0,02203747	0,02005373	0,00948759
	Probeta 3	0,05361333	0,06084444	0,00652901
CALIENTE	Probeta 1	0,00393807	0,00277176	0,00498691
	Probeta 2	0,00227363	0,00196196	0,00178183
	Probeta 3	0,00178433	0,00178433	0,00348066

Realizado por: Guanoluiza Daniel y Morocho Jonathan, 2020.

## 2.2.6. Ensayo de composición Química



**Figura 18-2:** Espectrómetro OLYMPUS DPO 200-C

**Realizado por:** Centro carrocerero Tungurahua, 2021.

Este ensayo se realizó en el centro de fomento Productivo metalmecánico carrocerero, perteneciente a un ensayo no destructivo la cual consiste, aplicar una descarga de radiación comparando por fluorescencia de rayos x (XRF) por energía dispersa de materiales dentro de un bunquer y es medida por espectrómetro de la marca OLYMPUS DPO200-C. en su calibración se usó Acero inoxidable 316. El ensayo realizado mediante la norma ASTM E1085 2016 el informe completo se encuentra en el anexo A, la probeta 060375147020201214-ERX 01 pertenece a la pastilla de marca de IMFRISA, de la misma forma la probeta 060375147020201214-ERX 02 indica la pastilla de marca FMX, Obteniendo como resultado:

**Tabla 11-2:** Contenido metálico de pastilla IMFRISA

Probeta		Elementos						Material especificado
		Fe.	Ti.	V.	Mn.	Zr.	Cu.	
060375147020201214-ERX 01	% Contenido	92,17	4,05	2,59	0,76	0,289	0,15	*No Especificado en la librería de materiales del equipo.
	+/- Error	0,14	0,11	0,08	0,04	0,009	0,02	

**Fuente:** : Centro carrocerero Tungurahua, 2021

**Realizado por:** Guanoluiza Daniel y Morocho Jonathan, 2020.

**Tabla 12-2:** Contenido metálico de pastilla FMX

Probeta		Elementos									Material especificado
		Fe.	Zr.	Cu.	Ti.	V.	Zn.	Cr.	Pb.	Mn.	
060375147020201214- ERX 02	% Contenido	69,91	9,14	5,97	4,91	3,1	3,03	1,85	1,22	0,88	*No Especificado en la librería de materiales del equipo.
	+/- Error	0,27	0,08	0,14	0,2	0,14	0,09	0,1	0,05	0,08	

Fuente: Centro carrocero Tungurahua, 2021

Realizado por: Guanoluiza Daniel y Morocho Jonathan, 2020.

### 2.3. Experimento.

Para determinar el desgaste entre las pastillas de freno de las dos marcas se ha realizado bajo un diseño experimental, para lo cual se basó en el sistema de frenos de un pistón accionado hidráulicamente de mordaza flotante, que la mayoría de los automóviles de nuestro entorno existen, para que el experimento sea bajo las mismas circunstancias para las marcas de pastillas se optó por usar un par a cada lado de cada disco, previamente se realizó una inspección y mantenimiento al sistema de freno, por último que el conductor asignado sea el mismo para todas las pruebas así no afectando el estilo de conducción.

#### 2.3.1. Selección del vehículo

Para la ejecución del proyecto se ha seleccionado un vehículo de marca Chevrolet, según la asociación de empresas automotrices del Ecuador (AEADE) Chevrolet es la marca dominante en cuanto a ventas en Ecuador con 39.387 unidades vendidas en el periodo 2019 tal como se ilustra en el Gráfico 1-2.



**Gráfico 1-2:** Ventas anuales Chevrolet 2007 – 2019

Realizado por: AEADE, 2019

El modelo elegido es el Spark 1.0 L año 2010 debido a que es este modelo uno de los más vendidos dentro de la marca Chevrolet.

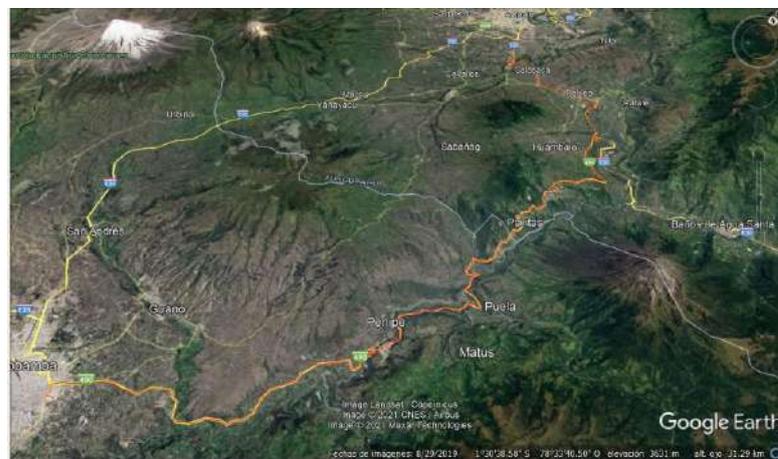


**Figura 19-2:** Chevrolet Spark 1.0 2010

**Realizado por:** Guanoluiza Daniel y Morocho Jonathan, 2020.

### *2.3.2. Selección de la ruta*

La ruta en la cual se realizará la investigación es el tramo Riobamba-Ambato la cual cuenta con 76.4 Km de distancia y un tiempo promedio de 1 h 30 min, datos obtenidos a través de Google maps.



**Figura 20-2:** Ruta Riobamba – Ambato.

**Realizado por:** Google Earth,2020.

La ruta se justifica ya que en esta podemos realizar las pruebas con condiciones benefactorías para la investigación, por ejemplo, mantener una velocidad de ente 90 – 100 km/h y al ser una ruta que cuenta con pendientes se puede poner a prueba la fiabilidad de cada pastilla de freno. Para la presente investigación se realizará 9 ciclos, denominando ciclo a una ida y una vuelta que se realice, tomando esta consideración se afirma que un ciclo contará con 152.8 km de distancia y 3 h por cada ciclo. En la Tabla 13-2 se establece las condiciones de distancia y tiempo para cada ciclo.

**Tabla 13-2:** Distancia y tiempo total requerido pruebas de ruta

Ciclo	Distancia (km)	Tiempo (h)
Ciclo 1	152.8	3
Ciclo 2	152.8	3
Ciclo 3	152.8	3
Ciclo 4	152.8	3
Ciclo 5	152.8	3
Ciclo 6	152.8	3
Ciclo 7	152.8	3
Ciclo 8	152.8	3
Ciclo 9	152.8	3
Total	1375.2	27

**Realizado por:** Guanoluiza Daniel y Morocho Jonathan, 2020.

### 2.3.3. Pastillas de freno a usar

Se ha seleccionado dos marcas de pastillas de freno adecuadas para el vehículo en el que se va a trabajar. En la Tabla 14-2 se especifica las pastillas de freno a utilizar.

**Tabla 14-2:** Especificaciones de las pastillas de freno a utilizar

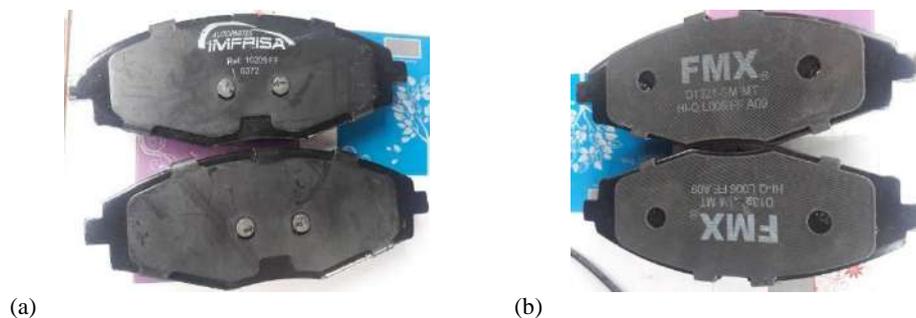
<b>Pastillas de freno 1</b>		
<b>Marca</b>	IMFRISA	
Peso (g)	Derecho	316
	Izquierdo	318
<b>Pastillas de freno 2</b>		
<b>Marca</b>	FMX	
Peso (g)	Derecho	272
	Izquierdo	274

**Realizado por:** Guanoluiza Daniel y Morocho Jonathan, 2020.

Para la validación de la investigación y siguiendo los lineamientos establecidos en la norma NTE INEN 2 185:2010, es necesario que las pastillas de freno a utilizar en la investigación cuenten con el mismo coeficiente de fricción o el coeficiente establecido en la norma, para este caso se usaron pastillas de freno con un coeficiente de fricción FF, también se debe verificar que las pastillas de freno pertenezcan a un mismo lote de producción. Cumplido con estos requerimientos es posible realizar la investigación.

#### 2.3.4. Medida de desgaste de las pastillas para cada ciclo

Para las pruebas de ruta, se ha colocado en el lado izquierdo del vehículo las pastillas de freno de marca IMFRISA y para el lado derecho las FMX, para de esta manera poder medir el desgaste que tendrán las pastillas en las mismas condiciones de manejo.



**Figura 21-2:** Pastillas de freno (a) marca IMFRISA, (b) marca FMX.

**Realizado por:** Guanoluiza Daniel y Morocho Jonathan, 2020.

Antes de realizar las pruebas de ruta se debe tomar en cuenta la masa tanto del vehículo como la de los ocupantes, estos datos se ilustran en la Tabla 15-2.

**Tabla 15-2:** Masa en kg del vehículo, conductor y ocupantes.

	Masa (kg)
Vehículo	939
Conductor	90.2
Pasajero 1	70.3
Pasajero 2	58.0

**Realizado por:** Guanoluiza Daniel y Morocho Jonathan, 2020.

Mediremos el desgaste de las pastillas de frenos, para cada ciclo, con la ayuda de una balanza digital. Debido a que el instrumento de medición no son 100 % precisos se ha tomado 5 datos para cada pastilla y para cada ciclo con el fin de disminuir el error y así poder sacar una media de las mediciones y obtener un dato más preciso.



**Figura 22-2:** Bascula digital

Realizado por: Guanoluiza Daniel y Morocho Jonathan, 2020.

*NOTA: Los datos obtenidos durante las pruebas de ciclo se muestran en el Anexo E.*

## 2.4. Temperatura

La temperatura es un factor que se considera en el desgaste de indirecto en las pastillas de freno, en su respectivo análisis se tomó las temperaturas de cada pastilla y disco con un termómetro infrarrojo Figura 23-2, dentro la ruta se tomó en cuenta en los puntos críticos estando al terminar una pendiente, en ambas direcciones iniciando en Riobamba a los 2756 msnm, puente de Penipe a los 2360 msnm, puente de Cahuají a los 2313 msnm, semáforo de baños a los 2336 msnm, Ambato a los 2665 msnm. La altitud fue tomada por medio de Google Earth. Se opto realizar 3 ciclos.



**Figura 23-2:** Perfil del tramo humbalo-baños

Realizado por: Google Earth, 2020.

En la Tabla 16-2 se muestra los resultados de temperatura en °C, de sus medias obtenidas de acuerdo con el lugar de cada toma de datos, para las dos marcas de pastillas de freno.

**Tabla 16-2:** Resultados de temperatura vs posición

Lugar	FMX	IMFRISA
Riobamba	87°C	100°C
Penipe	149°C	116,67°C
Cahuají	117°C	115,5°C
Baños	318,67°C	204°C
Ambato	160,67°C	122°C
Baños	152,33°C	136°C
Cahuají	190°C	143,33°C
Penipe	118,67°C	104,33°C
Riobamba	93,67°C	90,33°C

**Realizado por:** Guanoluiza Daniel y Morocho Jonathan, 2020.



**Figura 24-2:** Termómetro infrarrojo de la marca habotest.

**Realizado por:** Guanoluiza Daniel y Morocho Jonathan, 2020.

En la figura 24-2 es muestra el instrumento con el que se realizó la toma de temperatura sobre las pastillas a una distancia aproximada de 30 cm en cada punto designado, sus parámetros son de un valor de e igual a 0.95, el valor de la humedad varía según el lugar, además se usó la función de led para medir sobre un área constante.

## 2.5. Variables de estudio

**Tabla 17-2:** Designación de nomenclatura para la formación de factores

Clasificación	Variable	abreviación
Resistencia mecánica	Resistencia al corte	Rc
	Resistencia a la deformación	Rd
	Dureza Brinell	Dhb
Experimental	Porcentaje de desgaste	e
	Temperaturas de pastillas	tp
Composición Material de fricción	Espectrograma	m
	Gravedad específica	Ge
	Estabilidad dimensional	Ed

**Realizado por:** Guanoluiza Daniel y Morocho Jonathan, 2020.

El proyecto de investigación se presenta el comportamiento de las variables dependientes: su Composición Química (%), Dureza (HB), Gravedad Específica (g), Estabilidad Dimensional (mm), Resistencia al Corte (N/s), Deformación por Compresión (Kpa). emplear distintas pastillas en cada mordaza de freno en el auto de referencia la cual representan el desgaste en las mismas condiciones. Para el tratamiento estadístico de los resultados se toma en consideración las nomenclaturas que se representan en la tabla 17 -2. De esta forma se determina si entre grupos experimentales existe diferencia significativa o no (Rocha-Hoyos et al. 2019).

Dentro de los factores en primera instancia se encuentran las unidades de estudio donde se enmarca las marcas de pastillas es FMX en IMFRISA descritas con anterioridad las mismas que presentan distintas características dentro de estas existen niveles posición de la pastilla, otro factor son los lugares de toma de temperatura, como último factor se tiene el análisis de resistencia mecánica del material de fricción como niveles de dureza corte y deformación, que varía según la muestra analizada.

**Tabla 18-2:** Factores y niveles de variables

Factores	Niveles
Unidades de estudio	FMX
	IMFRISA
Temperatura	lugar
Análisis de resistencia mecánica	corte
	deformación
	dureza

**Realizado por:** Guanoluiza Daniel y Morocho Jonathan, 2020.

## CAPITULO III

### 3. RESULTADOS

A partir de los ensayos establecidos y de los protocolos de pruebas establecidos por la metodología, se obtienen los resultados de desgaste de las pastillas, temperatura, ensayo espectrograma, ensayo de corte, resistencia a la deformación, gravedad específica estabilidad dimensional. Permitiendo la evaluación del desgaste de pastillas de freno experimentados.

#### 3.1. Medida de desgaste de las pastillas para cada ciclo

Para las pruebas de ruta, se ha colocado en el lado izquierdo del vehículo las pastillas de freno de marca IMFRISA y para el lado derecho las FMX, para de esta manera poder medir el desgaste que tendrán las pastillas en las mismas condiciones de manejo.

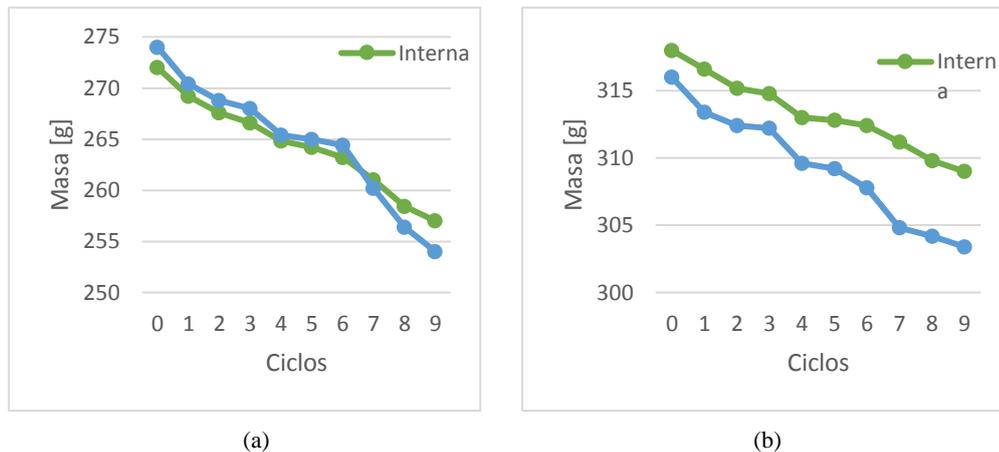
En la Tabla 1-3 se observa los valores obtenidos al finalizar cada ciclo de conducción tanto para las pastillas de freno FMX como para las IMFRISA. A partir de estos valores obtenidos se realizará un análisis para determinar que pastilla de freno tiene un desgaste menor.

**Tabla 1-3:** Valores de cada ciclo de las pastillas de freno FMX e IMFRISA

No	FMX		IMFRISA	
	Interna	Externa	Externa	Interna
0	272	274	316	318
1	269,2	270,4	313,4	316,6
2	267,6	268,8	312,4	315,2
3	266,6	268	312,2	314,8
4	264,8	256,5	309,6	313
5	264,2	265	309,2	312,8
6	263,2	264,4	307,8	312,4
7	261	260,2	304,8	311,2
8	258,4	256,4	304,2	309,8
9	257	254	303,4	309

**Realizado por:** Guanoluiza Daniel y Morocho Jonathan, 2020.

El Gráfico 1-3 muestran el desgaste que tuvieron las pastillas de freno FMX e IMFRISA durante las pruebas de ruta, lo que podemos destacar a simple observación es que el desgaste que hay tanto para las pastillas de freno FMX como para las IMFRISA es uniforme.



**Gráfico 1-3:** Desgaste por ciclo para (a) FMX, (b) IMFRISA

**Realizado por:** Guanoluiza Daniel y Morocho Jonathan, 2020.

### 3.1.1. Resultados de desgaste externo

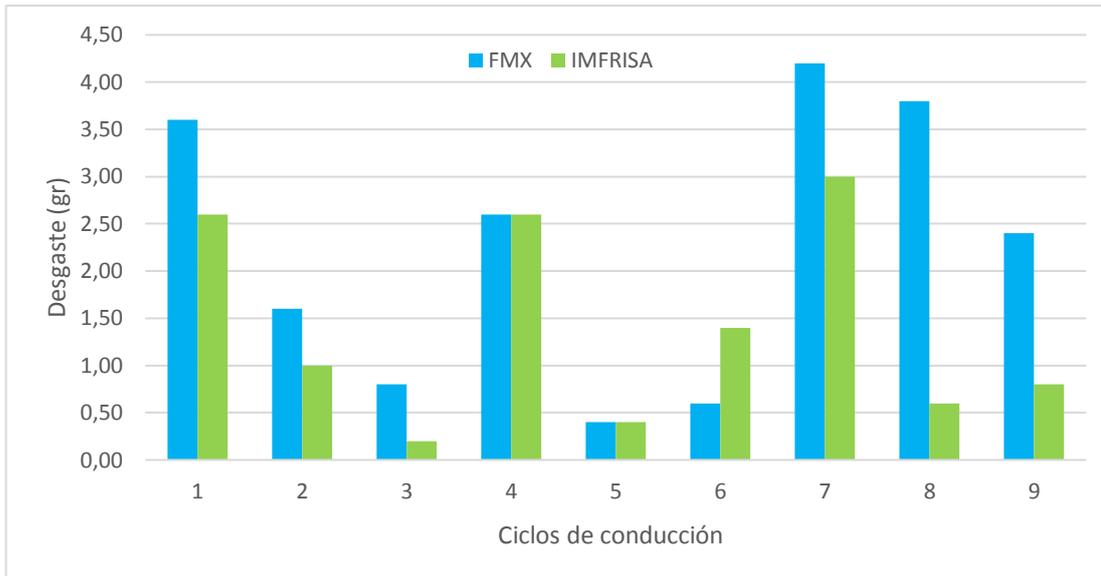
La Tabla 2-3 muestran valores para los dos tipos de pastillas de freno, estos valores son referentes al desgaste en gramos (lado externo) que hubo en cada ciclo.

**Tabla 2-3:** Comparativa de desgaste en gramos (lado externo), FMX vs IMFRISA

Ciclo	FMX	IMFRISA
0 a 1	3,6	2,6
1 a 2	1,6	1
2 a 3	0,8	0,2
3 a 4	2,6	2,6
4 a 5	0,4	0,4
5 a 6	0,6	1,4
6 a 7	4,2	3
7 a 8	3,8	0,6
8 a 9	2,4	0,8

**Realizado por:** Guanoluiza Daniel y Morocho Jonathan, 2020.

El Gráfico 2-3 representa el desgaste comparativo de los dos tipos de pastillas de freno (lado externo) durante cada ciclo. Se afirma que las pastillas de freno con un menor desgaste son las de marca IMFRISA.



**Gráfico 2-3:** Comparación de desgaste (lado externo) de las pastillas de freno

**Realizado por:** Guanoluiza Daniel y Morocho Jonathan, 2020.

### 3.1.1.1. Análisis ANOVA del desgaste (lado externo) entre las FMX e IMFRISA

Se plantea una hipótesis nula y una hipótesis alterna.

Ho No hay diferencia significativa de desgaste entre los tipos de pastillas de freno

Ha Existe diferencia significativa de desgaste entre los tipos de pastillas de freno

Nivel de significancia  $\alpha = 0,05$

**Tabla 3-3:** Análisis de varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor P
PASTILLAS DE FRENO	1	3,042	3,042	1,88	0,189
Error	16	25,876	1,617		
Total	17	28,918			

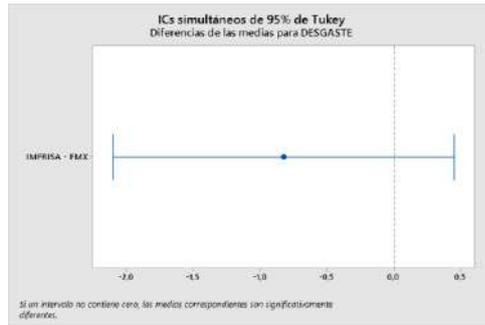
**Fuente:** MINITAB 19.

**Realizado por:** Guanoluiza Daniel y Morocho Jonathan, 2020.

$$\text{valor } p > \alpha$$

$$0,189 > 0,05$$

Debido a que el valor  $p > \alpha$ , se acepta la hipótesis nula (Ho) y se rechaza la hipótesis alterna (Ha). El Gráfico 3-3 muestra la comparativa de Tukey, tenemos la comparación entre los dos tipos de pastillas de freno, debido a que el intervalo contiene cero nos dice que las medias correspondientes no son significativamente diferentes, lo que da a entender que el desgaste existente entre los dos tipos de pastillas de frenos no es significativo.



**Gráfico 3-3:** Gráfica comparativa de Tukey.

**Fuente:** MINITAB 19.

**Realizado por:** Guanoluiza Daniel y Morocho Jonathan, 2020.

La Tabla 4-3 muestra las medias de los dos tipos de pastillas de freno, una vez concluido los 9 ciclos de conducción. La pastilla de frenos marca FMX tienen una media de desgaste de 2,222 gramos por ciclo de conducción mientras que la IMFRISA tienen una media de desgaste de 1,400 gramos por ciclo de conducción.

**Tabla 4-3:** Medias de las pastillas de frenos

PASTILLAS DE FRENO	N	Media	Desv. Est.	IC de 95%
FMX	9	2,222	1,451	(1,324. 3,121)
IMFRISA	9	1,400	1,063	(0,501. 2,299)
Desv. Est. agrupada = 1,27170				

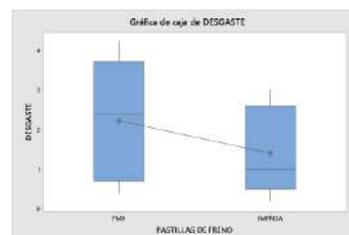
**Fuente:** MINITAB 19.

**Realizado por:** Guanoluiza Daniel y Morocho Jonathan, 2020.

Analizando el Gráfico de intervalos y el Gráfico de cajas (Gráfico 4-3) podemos afirmar que la pastilla de freno que sufre un mayor desgaste es la de marca FMX, debido a que su media de desgaste supera a la de marca IMFRISA.



(a)



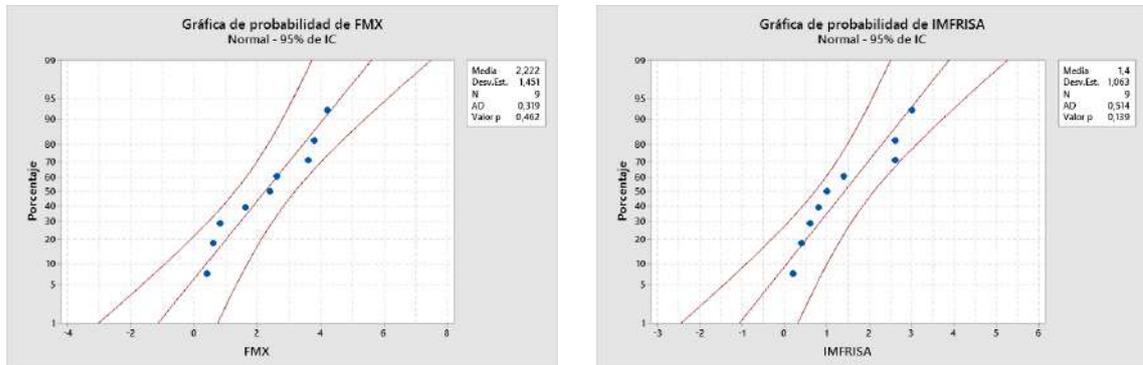
(b)

**Gráfico 4-3:** (a) Intervalos y (b) gráfica de caja de desgaste por pastilla de frenos.

**Fuente:** MINITAB 19.

**Realizado por:** Guanoluiza Daniel y Morocho Jonathan, 2020.

El Gráfico 5-3 tenemos la gráfica de probabilidad normal de las dos marcas de pastillas de freno en donde el valor p de cada gráfica es superior a 0.01 lo que nos indica que los datos obtenidos en las pruebas de desgaste son de tipo normal, caso contrario significaría que algún dato es erróneo o que hubo un error de medición.



(a)

(b)

**Gráfico 5-3:** Probabilidad (a) FMX, (b) IMFRISA con respecto al desgaste.

**Fuente:** MINITAB 19.

**Realizado por:** Guanoluiza Daniel y Morocho Jonathan, 2020.

En la Tabla 5-3 se muestran valores para los dos tipos de pastillas de freno, estos valores son referentes al desgaste en gramos (lado interno) que hubo en cada ciclo.

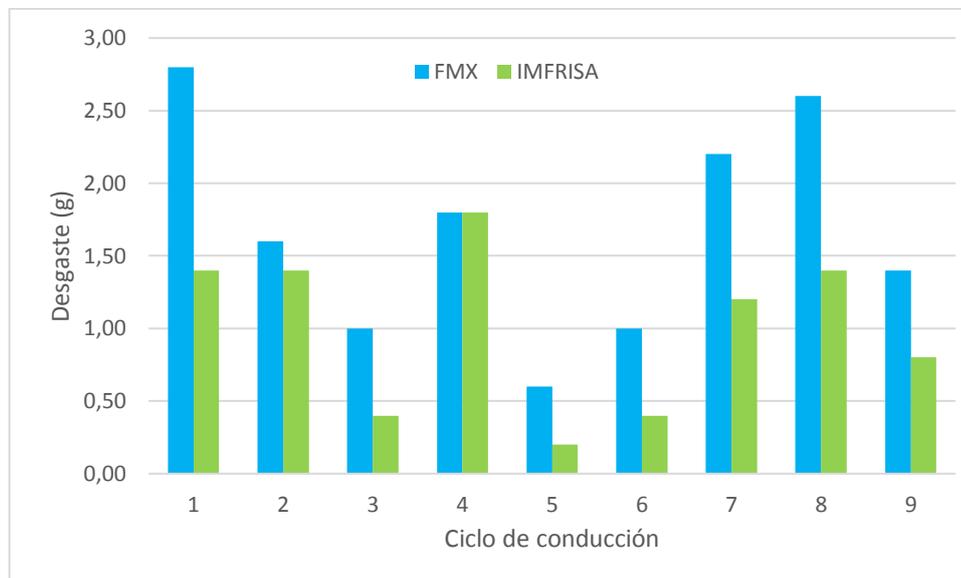
**Tabla 5-3:** Comparativa de desgaste (lado interno), FMX vs IMFRISA

Ciclo	FMX	IMFRISA
0 a 1	2,8	1,4
1 a 2	1,6	1,4
2 a 3	1	0,4
3 a 4	1,8	1,8
4 a 5	0,6	0,2
5 a 6	1	0,4
6 a 7	2,2	1,2
7 a 8	2,6	1,4
8 a 9	1,4	0,8

**Realizado por:** Guanoluiza Daniel y Morocho Jonathan, 2020.

### 3.1.2. Resultados de desgaste interno

El Gráfico 6-3 representa el desgaste comparativo de los dos tipos de pastillas de freno (lado interno) durante cada ciclo. Se afirma que las pastillas de freno con un menor desgaste son las de marca IMFRISA.



**Gráfico 6-3:** Comparación de desgaste (lado interno) de las pastillas de freno

**Realizado por:** Guanoluiza Daniel y Morocho Jonathan, 2020.

#### 3.1.2.1. Análisis ANOVA del desgaste (lado interno) entre las FMX y IMFRISA

Se plantea una hipótesis nula y una hipótesis alterna.

Ho No hay diferencia significativa de desgaste entre los tipos de pastillas de freno

Ha Existe diferencia significativa de desgaste entre los tipos de pastillas de freno

Nivel de significancia  $\alpha = 0,05$

**Tabla 6-3:** Análisis de varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor P
PASTILLAS DE FRENO	1	2,000	2,0000	4,49	0,05
Error	16	7,120	0,4450		
Total	17	9,120			

**Fuente:** MINITAB 19.

**Realizado por:** Guanoluiza Daniel y Morocho Jonathan, 2020.

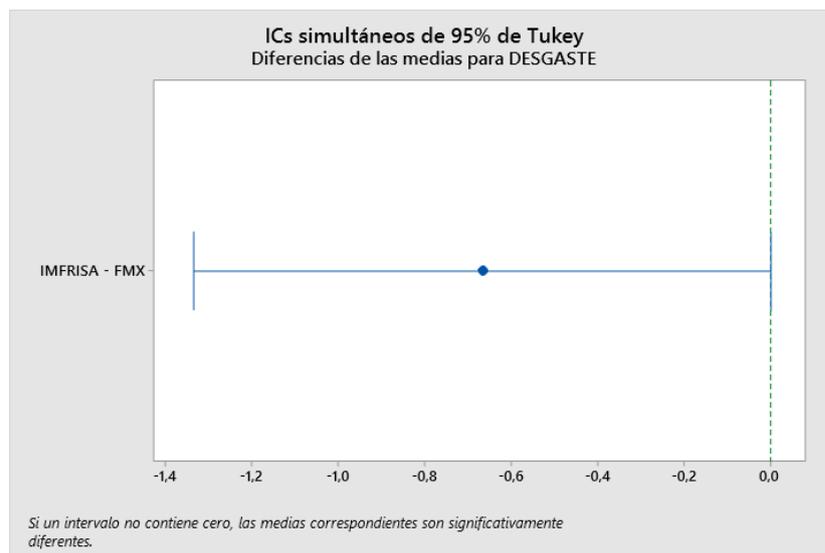
Desv. Est. agrupada = 0,667083

$$\text{valor } p \leq \alpha$$

$$0,05 \leq 0,05$$

Debido a que el valor  $p \leq \alpha$ , se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ) y se acepta la hipótesis alterna ( $H_a$ ).

El Gráfico 7-3 muestra la comparativa de Tukey, tenemos la comparación entre los dos tipos de pastillas de freno, debido a que el intervalo contiene cero nos dice que las medias correspondientes no son significativamente diferentes, lo que da a entender que el desgaste existente entre los dos tipos de pastillas de frenos no es significativo.



**Gráfica 7-3:** Gráfica comparativa de Tukey

**Realizado por:** Guanoluiza Daniel y Morocho Jonathan, 2020.

La Tabla 7-3 muestra las medias de los dos tipos de pastillas de freno, una vez concluido los 9 ciclos de conducción. La pastilla de frenos marca FMX tienen una media de desgaste de 1.667 gramos por ciclo de conducción mientras que la IMFRISA tienen una media de desgaste de 1,000 gramos por ciclo de conducción.

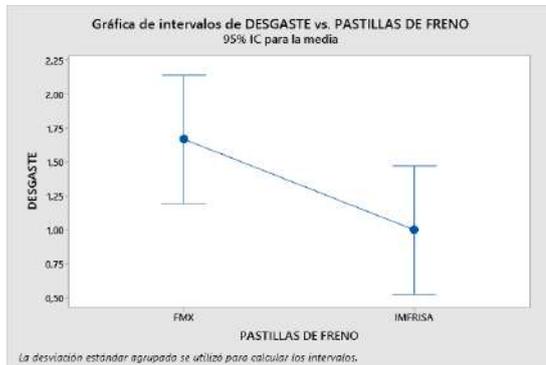
**Tabla 7-3:** Medias correspondientes a las pastillas de freno

PASTILLAS DE FRENO	N	Media	Desv. Est.	IC de 95%
FMX	9	1,667	0,755	(1,195. 2,138)
IMFRISA	9	1,000	0,566	(0,529. 1,471)

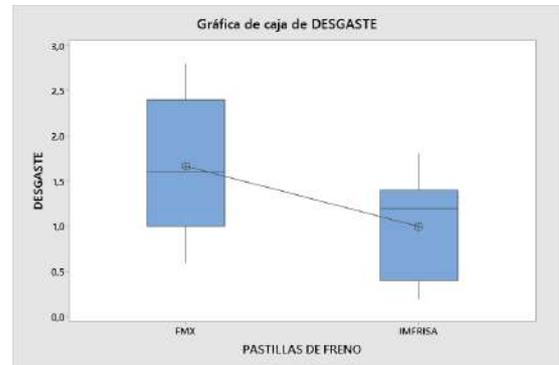
**Fuente:** MINITAB 19.

**Realizado por:** Guanoluiza Daniel y Morocho Jonathan, 2020.

Analizando el gráfico de intervalos y el gráfico de cajas (Gráfico 8-3) podemos afirmar que la pastilla de freno que sufre un menor desgaste es la de marca IMFRISA, debido a que su media de desgaste es inferior a la de marca FMX.



(a)



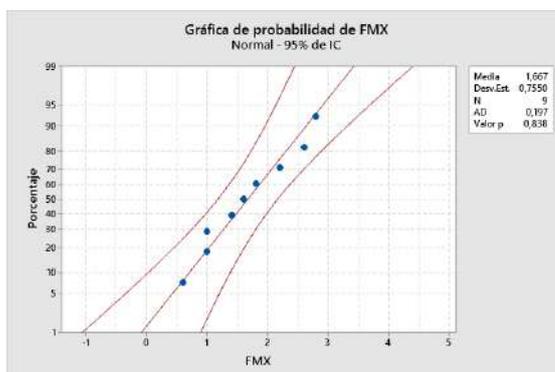
(b)

**Gráfico 8-3:** (a) Intervalos y (b) gráfica de caja de desgaste por pastilla de frenos

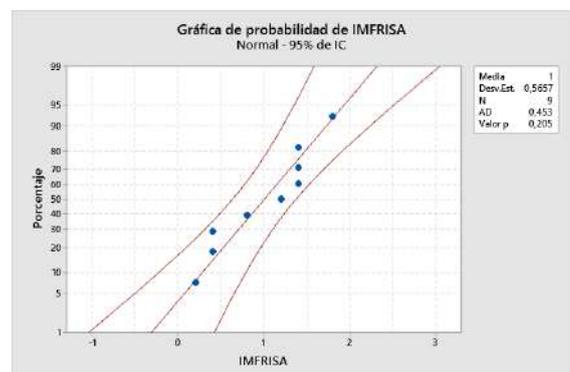
Fuente: MINITAB 19.

Realizado por: Guanoluiza Daniel y Morocho Jonathan, 2020.

En el Gráfico 9-3 se aprecia la gráfica de probabilidad normal de las dos marcas de pastillas de freno en donde el valor p de cada gráfica es superior a 0.01, lo cual indica que los datos obtenidos en las pruebas de desgaste son de tipo normal, caso contrario significaría que algún dato es erróneo o que hubo un error de medición.



(a)



(b)

**Gráfico 9-3:** Probabilidad (a) FMX, (b) IMFRISA con respecto al desgaste.

Realizado por: Guanoluiza Daniel y Morocho Jonathan, 2020.

Analizando la Tabla 8-3 se concluye que la pastilla de freno que tuvo un mayor desgaste es la de marca FMX con 35 gramos para los 9 ciclos de conducción.

**Tabla 8-3:** Promedio de masa perdida para los dos tipos de pastillas de freno

PASTILLAS		MASA INICIAL (g)	PROMEDIO MASA FINAL (g)	PROMEDIO MASA PERDIDA (g)	MASA TOTAL PERDIDA (g)
FMX	Interna	272	257	15	35
	Externa	274	254	20	
IMFRISA	Interna	318	309	9	21,6
	Externa	316	303,4	12,6	

**Realizado por:** Guanoluiza Daniel y Morocho Jonathan, 2020.

El porcentaje de desgaste que sufre cada pastilla de freno se calculó utilizando la siguiente formula:

$$\% \text{ desgaste} = \frac{\text{Masa Inicial} - \text{Masa Final}}{\text{Masa Inicial}} * 100$$

Calculamos el porcentaje correspondiente a cada marca y a cada lado.

FMX:

$$\% \text{ desgaste lado interna} = \frac{272 - 257}{272} * 100 = 5.51\%$$

$$\% \text{ desgaste lado externa} = \frac{274 - 254}{274} * 100 = 7.30\%$$

$$\% \text{ desgaste total} = \frac{546 - 511}{546} * 100 = 6.41\%$$

IMFRISA:

$$\% \text{ desgaste lado interna} = \frac{318 - 309}{318} * 100 = 2.83\%$$

$$\% \text{ desgaste lado externa} = \frac{316 - 303.4}{316} * 100 = 3.99\%$$

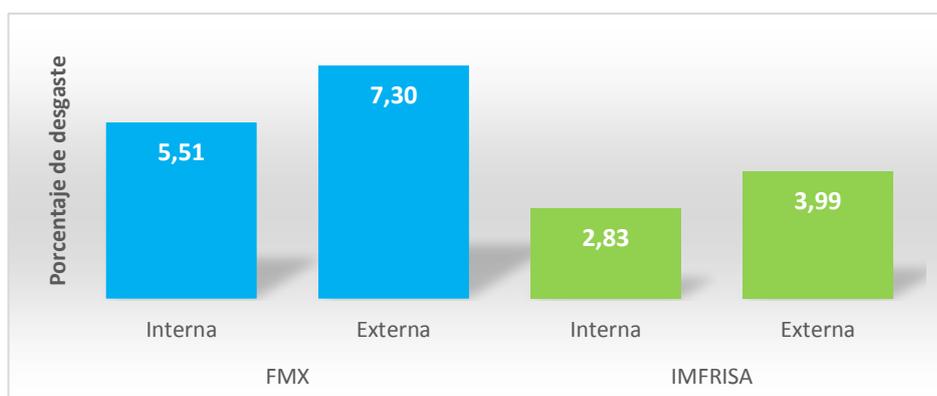
$$\% \text{ desgaste total} = \frac{634 - 612.4}{634} * 100 = 3.41\%$$

**Tabla 9-3:** Porcentajes de desgaste para los dos tipos de pastillas de freno

Porcentaje de desgaste			
FMX		IMFRISA	
Interna	Externa	Interna	Externa
5,51	7,3	2,83	3,99

Realizado por: Guanoluiza Daniel y Morocho Jonathan, 2020.

Con el Gráfico 10-3 se puede comparar los porcentajes de pérdida de masa y así se aprecia de mejor manera.



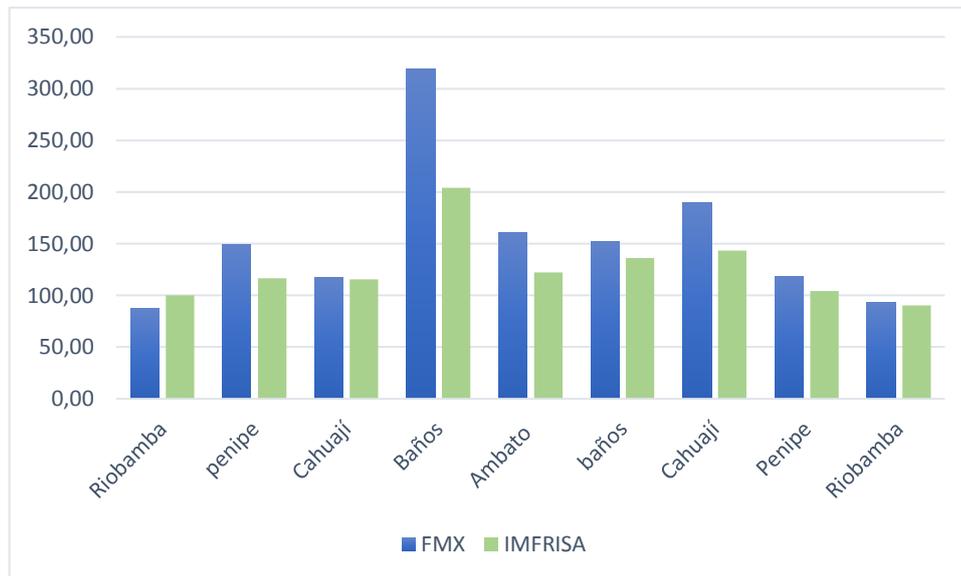
**Gráfico 10-3:** Porcentaje de desgaste de cada tipo de pastilla de freno.

Realizado por: Guanoluiza Daniel y Morocho Jonathan, 2020.

Los resultados obtenidos en el presente estudio concuerdan con el estudio realizado por Álvarez; & Narváez (2020), Ríos; & Rivera (2017) debido a que las pastillas de freno semimetálicas son más resistentes a la abrasión, teniendo un porcentaje de desgaste muy similar entre los estudios. Este porcentaje variara según la marca de pastilla de freno como ya se ha demostrado en el presente estudio.

### 3.2. Resultados de temperatura

En la siguiente figura 11-3 se observa que la temperatura más alta registrada corresponde a la pastilla FMX con una temperatura de 318.67 °C en el punto de baños siendo mayor a la IMFRISA con 114.67 °C, de la misma forma en todos los puntos la media de sus temperaturas de marca FMX es mucho mayor en comparación a la marca IMFRISA. Representado que las pastillas IMFRISA está por debajo de la temperatura en frío faltando 5.23 % para llegar a esta condición, por otro lado, la FMX sobre pasa la temperatura en caliente con un 1.16% sobre pasando esta condición. De acuerdo con su manual de trabajo de operación de , (HIGH POWER BRAKE, 2019) indican la temperatura en frío y en caliente , por lo cual que no pierden su coeficiente de fricción.



**Gráfico 11-3:** Temperatura vs posición

Realizado por: Guanoluiza Daniel y Morocho Jonathan, 2020.

### 3.2.1. Análisis ANOVA de temperatura de funcionamiento de las pastillas de freno

Para primera instancia se plantea una hipótesis nula y un alterna:

Ho: no existen interacción entre los factores del material de fricción y el lugar que influyen en la temperatura promedio tomada.

Ha: existen una interacción entre los factores de material de fricción y el lugar que influyen en la temperatura promedio tomada.

Nivel de significancia  $\alpha = 0.05$ .

**Tabla 10-3:** Análisis de varianza de temperatura de pastillas de freno

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
<b>pastilla</b>	1	15184	15184	9,11	0,004
<b>lugar</b>	6	136813	22802	13,68	0,000
<b>pastilla*lugar</b>	6	13936	2323	1,39	0,241
<b>Error</b>	40	66689	1667		
<b>Total</b>	53	230186			

Realizado por: Guanoluiza Daniel y Morocho Jonathan, 2020.

$$\text{Valor } p > \alpha$$

$$0,241 > 0,05$$

Debido a que el valor  $p > \alpha$ , se acepta la hipótesis nula ( $H_0$ ) y se rechaza la hipótesis alterna ( $H_a$ ). Con un nivel de significancia del 5% se concluye que no hay interacción entre el material de fricción y los lugares que influyan en el promedio de las pastillas de freno.

Puesto que no existe interacción entre el material de fricción y el lugar tomado la medida se realiza un análisis entre el material de fricción y a la temperatura promedio de las pastillas de freno.

$H_0$ : no hay efecto del material de fricción sobre la temperatura promedio.

$H_a$ : hay efecto del tipo de material de fricción sobre la temperatura promedio.

Con un nivel de significación  $\alpha = 0.05$

Expuesto en la tabla 10-3, entre el material de fricción y la temperatura obrando por un valor P de 0.04 donde:

$$\text{valor } p < \alpha$$

$$0,04 < 0,05$$

Debido a que el valor  $p < \alpha$ , se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ) y se acepta la hipótesis alterna ( $H_a$ ). Con un nivel de significancia del 5% se concluye que si hay efecto alguno en el tipo de material de fricción sobre la temperatura promedio.

No olvidándose que el lugar tiene algún efecto sobre la temperatura de las pastillas de freno, se realiza un análisis de la tabla 10-3, la cual se plantea que:

$H_0$ : no hay efecto del lugar sobre la temperatura promedio.

$H_a$ : hay efecto del lugar sobre la temperatura promedio.

Nivel de significancia  $\alpha = 0.05$

Tomando el valor de lugar con  $p = 0$ , entonces

$$\text{valor } p < \alpha$$

$$0 < 0,05$$

Debido a que el valor  $p < \alpha$ , se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ) y se acepta la hipótesis alterna ( $H_a$ ). con un nivel de significancia del 5% se concluye que hay efecto del lugar sobre la temperatura promedio.

Con estos resultados se realiza una comparación múltiple de tukey, sobre la temperatura y material de fricción, proponiendo lo siguiente como hipótesis nula y alternativa:

$H_0$ : los promedios de temperatura son igual

$H_a$ : los promedios de temperatura son distintos.

Nivel de significancia  $\alpha = 0.05$

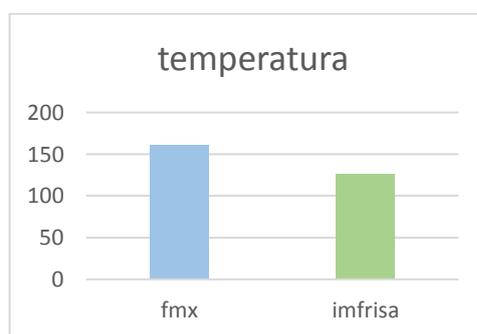
**Tabla 11-3:** Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Pastilla	N	Media	Agrupación	
FMX	27	161,293	A	
IMFRISA	27	126,086		B

**Realizado por:** Guanoluiza Daniel y Morocho Jonathan, 2020.

*Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.*

La Tabla 11-3 muestra las medias de los dos tipos de pastillas de freno, una vez concluido los 3 ciclos de conducción. La pastilla de frenos marca FMX tienen una media de temperatura de 161.293 °C por ciclo de conducción mientras que la IMFRISA tienen una media de desgaste de 126.086 °C por ciclo de conducción.



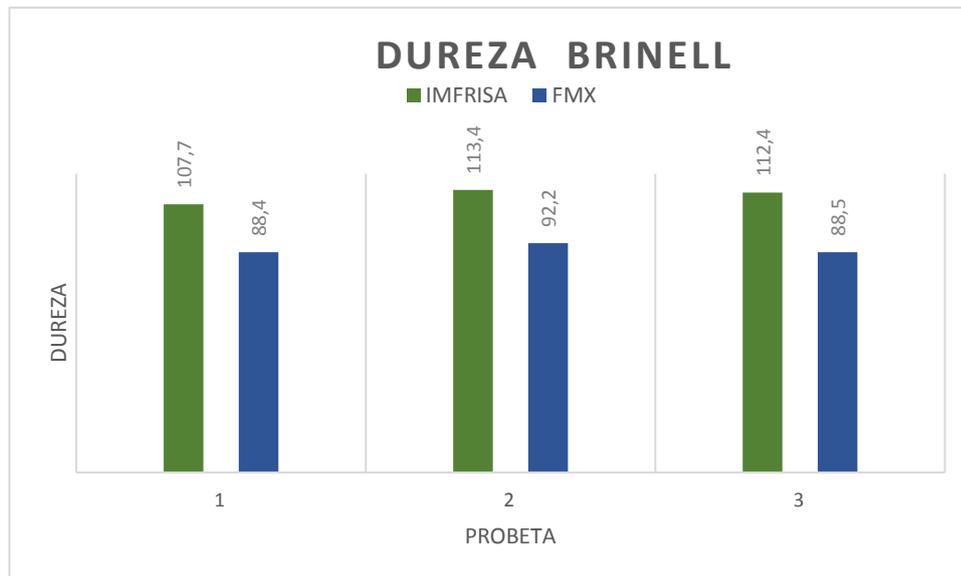
**Gráfico 12-3:** Media de temperatura de pastillas en 3 ciclos.

**Realizado por:** Guanoluiza Daniel y Morocho Jonathan, 2020.

En el Gráfico 12-3 la máxima y que prevalece es la FMX sobre la IMFRISA que concluye en una mayor temperatura infiere un coeficiente de fricción a ser menor por lo cual físicamente reduce su desgaste.

### 3.3. Resultados del ensayo de dureza

La dureza obtenida muestra claramente que la marca IMFRISA contiene mayor resistencia del para la probeta 1 superior con el 19%, en la probeta 2 es un caso similar su dureza es mayor con el 21%, en la probeta 3 aumento su dureza con el 24% sobre la marca FMX.



**Gráfico 13-3:** Dureza de cada probeta

**Realizado por:** Guanoluiza Daniel y Morocho Jonathan, 2020.

El material de fricción de la marca IMFRISA es superior en un 21.467% más duro que la marca FMX con ello es duro resistente y menos flexible con esto es más difícil que el material de fricción IMFRISA logre sufrir desgaste.

### 3.4. Resultados ensayo de corte

En el ensayo de resistencia interna al corte se determinó la carga máxima que soporto cada probeta de la pastilla de freno, en la cual la muestra 2 de la marca IMFRISA es la de más alta con 14.325 N/mm<sup>2</sup> y la muestra 1 es la más baja con 8.508 N/mm<sup>2</sup>, estos valores se debe a las diferencias existentes entre las áreas de sección transversal de 404,01 mm<sup>2</sup>, siendo el área de la muestra 4 la que representa el valor más óptimo para el ensayo de 403,05 mm<sup>2</sup>, y un fuerza interna de corte de 11,613 N/mm<sup>2</sup> colocándose así el valor promedio de las propiedades físicas de esta marca.

**Tabla 12-3:** Resultados del ensayo de corte en probetas de IMFRISA

Probeta	Área transversal (mm <sup>2</sup> )	Carga aplicada (N)	Fuerza interna de corte (N/mm <sup>2</sup> )
1	396,1	3.370	8,508
2	404,01	5787,36	14,325
3	398	3684,75	9,258
4	403,05	4.680,65	11,613
5	396,01	4913,63	12,408

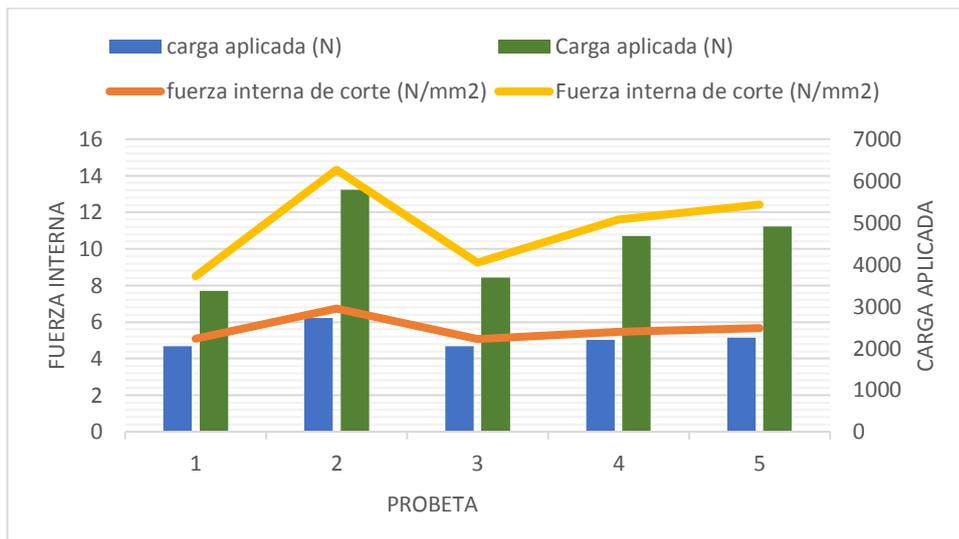
**Realizado por:** Guanoluiza Daniel y Morocho Jonathan, 2020.

En el ensayo de la marca FMX corte se determinó la carga máxima que soporto cada probeta de la pastilla de freno, en la cual la muestra 2 es la de más alta con 6.735 N/mm<sup>2</sup> y la muestra 1 es la más baja con 6.735 N/mm<sup>2</sup>, estos valores se debe a las diferencias existentes entre las áreas de sección trasversal de 401.08 mm<sup>2</sup>, siendo el área de la muestra 3 la que representa el valor más óptimo para el ensayo de 403,05 mm<sup>2</sup>, y un fuerza interna de corte de 5.068 N/mm<sup>2</sup> colocándose así el valor promedio de las propiedades físicas de esta marca.

**Tabla 13-3:** Resultados del ensayo de corte en probetas de FMX

Probeta	Área transversal (mm <sup>2</sup> )	Carga aplicada (N)	Fuerza interna de corte (N/mm <sup>2</sup> )
1	401,8	2.043	5,084
2	404,01	2721,01	6,735
3	403,05	2042,84	5,068
4	402	2196,78	5,465
5	396,01	2246,7	5,673

Realizado por: Guanoluiza Daniel y Morocho Jonathan, 2020.



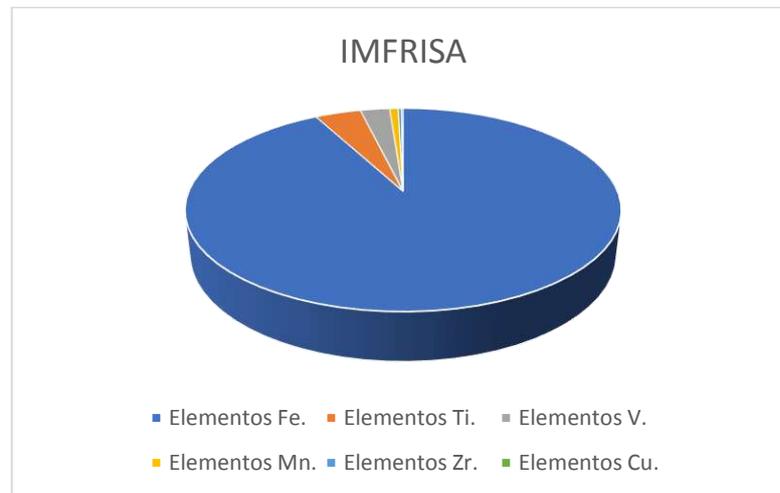
**Gráfico 14-3:** Representación de Resultados ensayo de corte

Realizado por: Guanoluiza Daniel y Morocho Jonathan, 2020.

En el gráfico 14-3 se observa como la marca IMFRISA contiene mayor resistencia al corte sobre la FMX, siendo estas de menor carga aplicada con una diferencia media de 2250.034 N correspondiendo a la IMFRISA con una carga media de 4484.27 N soportando mayormente con una diferencia del 49.97% más resistente al corte.

### 3.5. Resultados de ensayo espectrograma

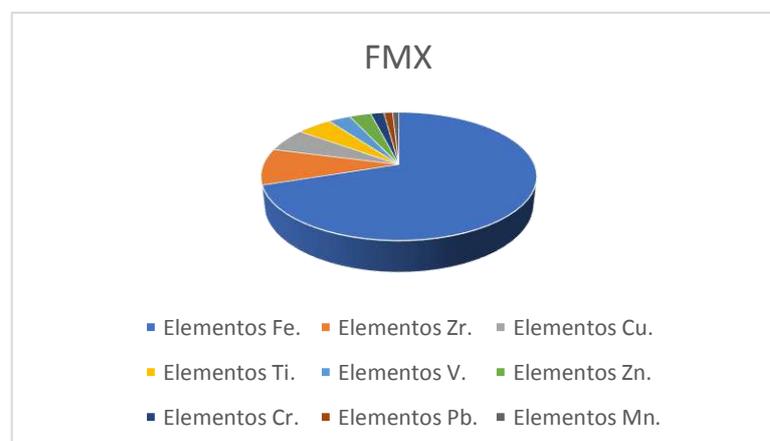
En el ensayo de rayos x, se determinó que la marca IMFRISA obtiene mayor cantidad de el Hierro (Fe) con un mayor porcentaje cubriendo el 92.1 %, y su menor porcentaje de contenido está el Cobre (Cu) con el 0.1% , entre los más relevantes está el titanio (Ti) con 4% , vanadio(v) con el 2% y el Circonio (zr) con 0.28 % representado en el por la Figura 15-3.



**Gráfico 15-3:** Representación de porcentaje de compuestos metálicos de IMFRISA

**Realizado por:** Guanoluiza Daniel y Morocho Jonathan, 2020.

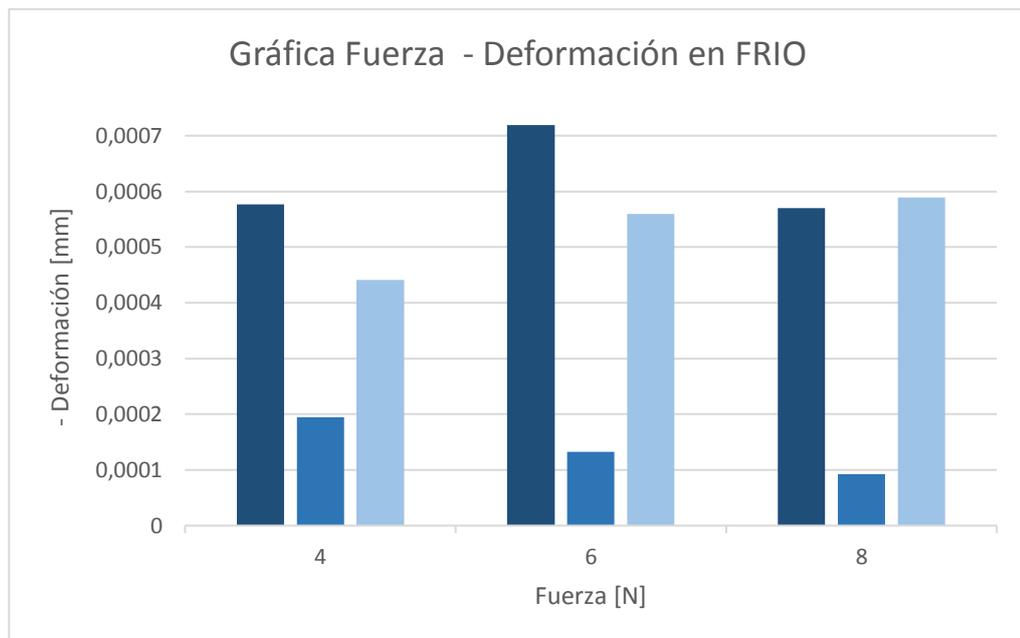
En el ensayo de rayos x, se determinó que la marca FMX obtiene mayor número de elementos entre estos el Hierro (Fe) con un porcentaje cubriendo el 69.1 %, y su menor porcentaje de contenido está el Manganeso (Mn) con el 0.8% , entre los más relevantes está el Plomo (Pb) con 1.2% , Cromo con el 1.8% y el Zinc (zn) con el 3% representado por la Grafica 16-3.



**Gráfico 16-3:** Representación de porcentaje de compuestos metálicos FMX

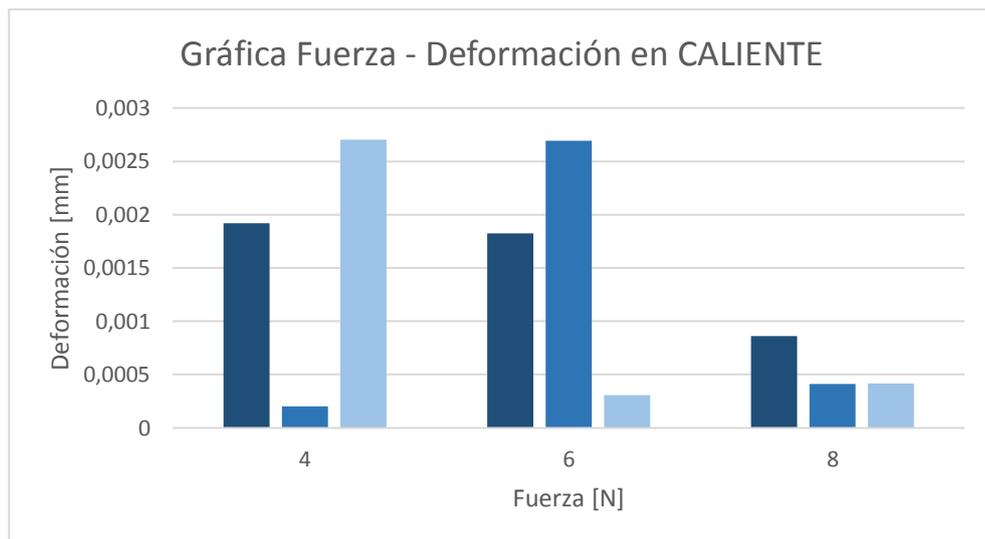
**Realizado por:** Guanoluiza Daniel y Morocho Jonathan, 2020.

### 3.6. Resultados del ensayo de deformación



**Gráfico 17-3:** Diagrama de barras de la deformación a 22.5°C de la marca FMX

**Realizado por:** Guanoluiza Daniel y Morocho Jonathan, 2020.

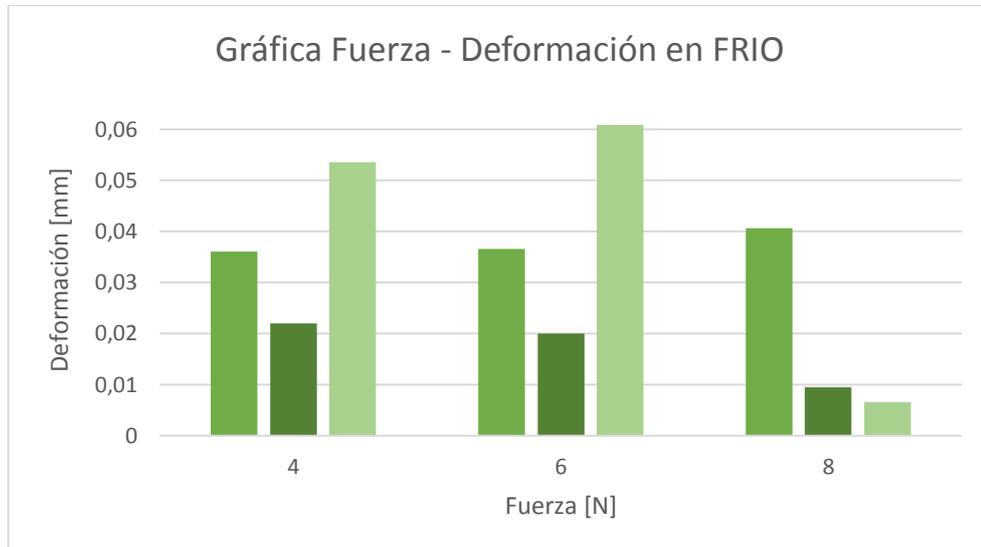


**Gráfico 18-3:** Diagrama de barras de la deformación a 400°C de la marca FMX

**Realizado por:** Guanoluiza Daniel y Morocho Jonathan, 2020.

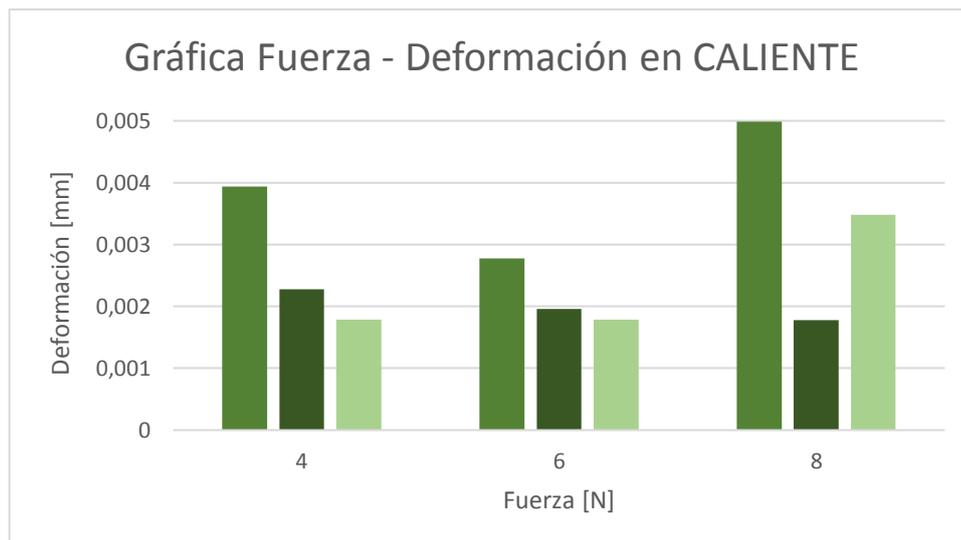
En el gráfico 17-3 sometidas a 3 cargas ha temperatura ambiente, en 4 N de fuerza aplicada sobre la pastilla FMX denota una deformación del 0.004041 mm, mientras que a una fuerza aplicada se registra una deformación menor del 0.0003457 mm y al final aplicado una fuerza de 8N denota un deformación muy similar al de 4 N. obtenido como promedio de un deformación en frio de

0.000389 mm. un cambio significativo se observa en el gráfico 18-3, cuando se aplica una temperatura mayor a las mismas cargas obtenido a 4N un deformación en su superficie de 0.0016097mm y muy similares a las cargas de 6N en donde si no hay cambio en la carga de 8N al final registrado un deformación en caliente de 0.0012602 mm.



**Gráfico 19-3:** Diagrama de barras de la deformación a 22.5°C de la marca IMFRISA

**Realizado por:** Guanoluiza Daniel y Morocho Jonathan, 2020.



**Gráfico 20-3:** Diagrama de barras de la deformación a 400°C de la marca IMFRISA

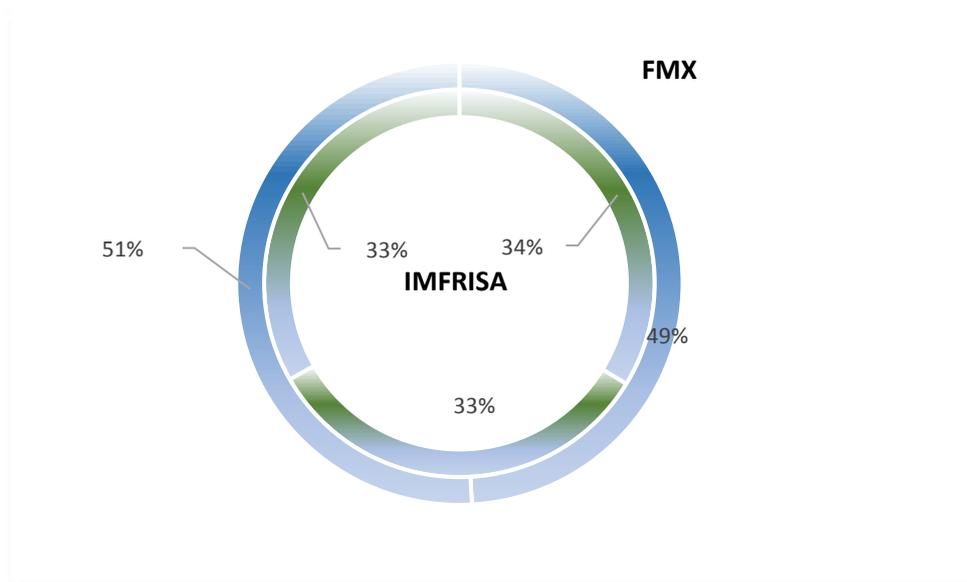
**Realizado por:** Guanoluiza Daniel y Morocho Jonathan, 2020.

Para el gráfico 19-3 de la marca IMFRISA bajo las mismas carga aplicadas de 4 N en frío se registró un deformación media de 0.037248mm, muy similar cuando se aplica la carga de 6N en donde si no hay mucha deformación es en la carga de 8 N con tan solo 0.018903 mm como

resultado se obtiene un deformación promedio de 0.031768mm, mientras que en el gráfico 20-3, los datos registrados en una mayor temperatura bajo la carga de 6N su deformación es mínima como y muy similares alza cargas de 4 y 8N como un deformación promedio de 0.002751mm.

### 3.7. Resultados del ensayo de gravedad especifica

El resultado del ensayo de gravedad especifica se observa que el material de fricción no varía el 5% del valor descrito por la norma en su análisis de compactibilidad el material es homogéneo su densidad es igual en todo el material con ello es precisa y exacta la composición mineral de las muestras y otros elementos que pueden complicar el peso exacto de los minerales de esta forma se concluye que además de cumplir con las especificaciones del fabricante la marca IMFRISA sobre sale por un del 1 - 2% por su competidora en la muestra 3 y 2 y está debajo de ella por el 1% en la muestra 1.

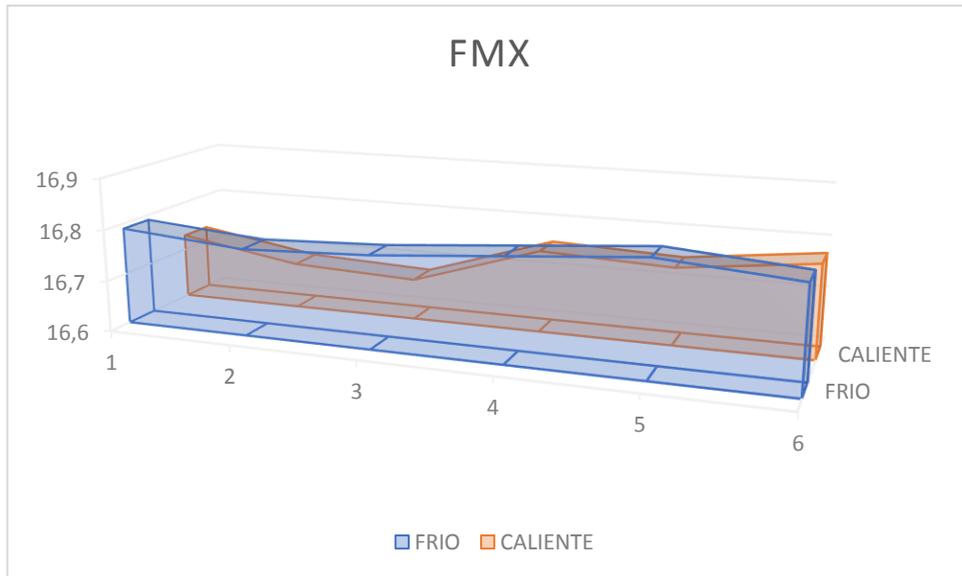


**Gráfico 21-3:** Contenido porcentual de gravedad especifica de las dos marcas

**Realizado por:** Guanoluiza Daniel y Morocho Jonathan, 2020.

### 3.8. Resultados del ensayo de estabilidad dimensional

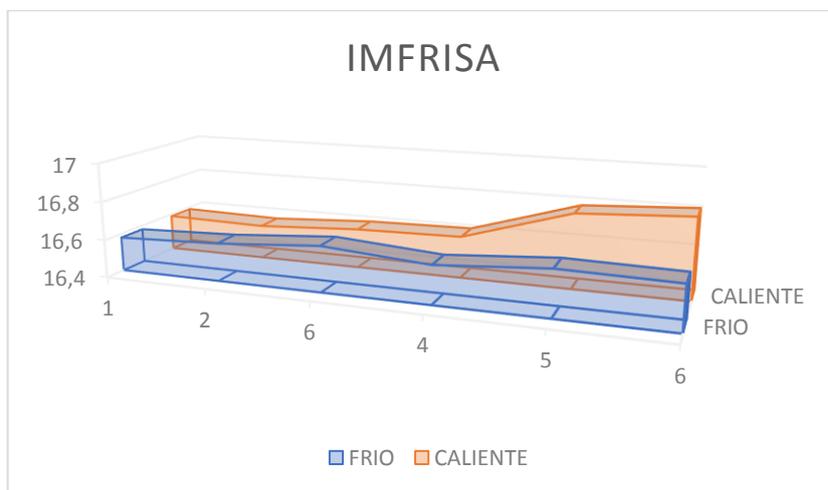
En los resultados del ensayo de estabilidad dimensional en el Grafico 22-3 se observa a temperatura ambiente indica una superficie aproximadamente lineal a lo largo de los 6 puntos viceversa a después de someter a temperatura de 200°C +-5 °C como secuela existe una disminución de superficie de 61.66 um . Y cabe recalcar en su observación visual de su superficie existe porosidad hacia el interior de este.



**Gráfico 22-3:** Comparativa de superficie a 25.5°C Y 206°C

**Realizado por:** Guanoluiza Daniel y Morocho Jonathan, 2020.

Para los resultados de marca IMFRISA ocurrió contrario a la marca en el gráfico 23-3 realizada en ensayo de estabilidad dimensional a temperatura ambiente, tomando los puntos específicos a lo largo de la superficie y posteriormente sometida a una temperatura de 200°C se obtuvo un crecimiento de dimensión con respecto al área original con una media de 53.33um, como observación sobre su superficie existe una granulación blanquecina en toda la superficie del material de fricción.



**Gráfico 23-3:** Comparativa de superficie a 25.5°C Y 199°C

**Realizado por:** Guanoluiza Daniel y Morocho Jonathan, 2020.

### 3.9. Resumen de resultados de los ensayos

En la siguiente tabla se muestra un resumen de los resultados de cada ensayo planteado.

**Tabla 14-3:** Resumen de resultados

Resultados de los ensayos			
Degaste	FMX	IMFRISA	unidades
	6,41	3,41	%
Temperatura	161,293	126,086	°C
Dureza Brinell	89,7	111,167	HB
Resistencia corte	5,068	11,613	n/mm <sup>2</sup>
Espectrograma (Fe)	69,10	92,1	%
Deformación			
frio	0,389	31,768	um
caliente	1,260	2,751	um
Gravedad especifica	2,31	3,995	%
Estabilidad dimensional	-61,66	(+)53,3	um

Realizado por: Guanoluiza Daniel y Morocho Jonathan, 2020.

### 3.10. DISCUSIÓN

Zambrano & Viláñez (2018) realizaron las pruebas de desgaste a 2500 msnm, en la ciudad de Quito, en pastillas de freno semimetálicas marca BOSCH obteniendo como resultados una pérdida de material del 3%. El presente estudio se realizó en el tramo Riobamba – Ambato las cuales tienen una elevación muy similar 2754 msnm y 2500 msnm respectivamente obteniendo como resultados una pérdida de material, en porcentaje, que va desde 2.8% hasta 3.9% para la marca IMFRISA y 5.5% hasta 7.3% en la marca FMX. Con lo cual se da a entender que el desgaste de las pastillas de freno independientemente de la marca que sea dependerá en gran medida de los componentes de las que estén elaboradas.

La temperatura registrada la FMX en la media llega ser mayor en un 21.83% sobre la IMFRISA, por lo cual la FMX al tener mayor temperatura incide en la disminución de la dureza con la temperatura produciría un aumento del desgaste contrariamente a lo observado en el volumen desgastado con la temperatura de acuerdo con (Casa. et al., 2002, p. 573).

La dureza en las dos marcas propuestas sobre sale la marca IMFRISA puesto que el material de fricción es especialmente duro sobre la FMX por lo cual se infiere que físicamente es resistente a un desgaste como se confirma por (Castrillón & Manrique, 2017, p. 7), en su ensayo de dureza que una alta dureza en un material está relacionado tanto a una alta resistencia a rayaduras y a desgaste.

Se concluye que la marca de IMFRISA representa mayor resistencia al corte traduciendo como a falla por los esfuerzos y el deslizamiento a lo largo de cualquier plano dentro de éste, bajo este precepto, (Loayza, 2017. pp. 73-83) determina que el esfuerzo cortante indica la resistencia a un desgaste prematuro. Por lo que confirma lo mencionado con la relación entre resistencia de corte

al desgaste del material de fricción y duración de kilometraje de vida útil de pastilla como menciona (Martínez & Toasa, 2019, p. 75).

En el análisis de espectrograma, Se concluye que la pastilla IMFRISA en el compuesto de mayor contenido de material de fricción es el (Fe) hierro lo cual incide con mejora de la tenacidad, a absorber la energía mecánica durante su deformación antes que llegue a romperse o quebrarse. Además, (Hendre et al., 2019, pp.694-698) muestra las propiedades de los materiales y su influencia a coeficiente de fricción.

La deformación por compresión es la relación entre la reducción en espesor del revestimiento de freno, debida a las fuerzas de compresión y temperaturas para su espesor inicial medida en la dirección de la fuerza de aplicación, perpendicular a la superficie de fricción por lo cual en su superficie será menos propenso a sufrir fisuras, cráteres, material adherido y surcos de abrasión de acuerdo con (Rosenberger et al., 2005, p.251).

La gravedad específica entre ambas pastillas son muy similares aun así por muy poco sea determinando que INFRISA objeto menor densidad homogénea dentro de material de fricción.

La estabilidad dimensional Se concluye que la marca FMX se propaga grietas debajo de su superficie que en contacto genera el fraccionamiento del material de fricción y posteriormente desprendimiento del material traduciendo esto que la marca IMFRISA presenta un menor desgaste

## CONCLUSIONES

Con las gráficas de relación podemos hacer un análisis comparativo entre las dos marcas de pastillas de freno, lo cual es necesario para elegir una opción favorable, que en este caso es la pastilla de freno marca IMFRISA, con un porcentaje de desgaste de 3.41%, debido a que tuvo menor desgaste al culminar con las pruebas de ruta, mientras que la pastilla de la marca FMX obtuvo un porcentaje de desgaste 6.41%, cabe destacar que el desgaste de pastillas de freno, independientemente de que marca sea, dependerá de las condiciones a las que sea sometida y de la composición de la pastilla de freno.

La temperatura de las pastillas de freno durante las pruebas de ruta demostró que la marca FMX llega a una temperatura promedio de 161.3°C mientras que la temperatura de la marca IMFRISA llega a los 126.1°C, esto se debe a que la pastilla de la marca IMFRISA contiene un mayor contenido de hierro (Fe) siendo superior en un 23% sobre la FMX, lo cual bajo las mismas circunstancias de operación la FMX están próximo a su temperatura límite de funcionamiento. Como referencia de temperatura de trabajo del fabricante high power brake en sus resultados indican con la temperatura en frío y en caliente, lo que indica que no pierden su coeficiente de fricción las temperaturas experimentadas.

A partir de los resultados obtenidos mediante un análisis de espectrograma se determinó la característica de los materiales de las pastillas de freno, en la marca FMX, se tuvieron dos componentes fundamentales, el plomo con un 1.2% y el hierro con el 69.1%. Por otro lado la marca IMFRISA contiene materiales similares como el cobre con un 0.1%, titanio 5%, circonio con el 6%, como materiales principales el hierro y titanio, elementos que ayudan en gran medida a resistir altas temperaturas y el desgaste por abrasión.

Se analizó que el ensayo de dureza en grados de Brinell la pastilla de Freno FMX registro un valor de 98.7 HB mientras que la marca IMFRISA llego a un valor de 111.167 HB, demostrando un mayor grado de dureza del material de fricción de dicha marca. En el ensayo de resistencia interna al corte mediante de la pastilla de freno de la marca IMFRISA una carga máxima aplicada de 5 787.36 N da como resultado una resistencia interna al corte de 14 325N/mm<sup>2</sup>, mientras que la marca FMX alcanza una carga máxima aplicada de 2 721.01N dando como resultado una resistencia al corte de 6 735N/mm<sup>2</sup>. este valor se debe al área de la sección transversal.

## RECOMENDACIONES

Para las pruebas en ruta se recomienda utilizar instrumentos de medición lo más precisos posible, debido a que el desgaste que sufrirá la pastilla de freno es limitado, de este modo se obtendrá mediciones más exactas por ciclo. A su vez es necesario trabajar con pastillas de freno correspondientes a una misma marca, asegurando así la confiabilidad de los datos obtenidos.

Se recomienda utilizar equipo de protección para registrar los valores de temperatura, además Se recomienda no forzar en exceso las pastillas de freno al momento de hacer el experimento en ruta ya que al llegar a temperaturas críticas el sistema podría no funcionar adecuadamente pues al existir cambios bruscos de temperatura las pastillas de freno sufren el fenómeno llamado cristalización, con lo cual se pone en riesgo la seguridad de los ocupantes del vehículo.

En el experimento de temperatura es recomendable realizar una medición al tiempo real, al menos lo necesario de registrar cada cierto tiempo mediante termocuplas y sea de exportar en algún software con el fin de asegurar la confiabilidad de los datos obtenidos, además hay que tener mucho cuidado con el sobre exigir a las pastillas al ser que puedan perder total mente su coeficiente de fricción al llegar a temperaturas extremas.

Al realizar el ensayo de espectrometría, por radiación mediante fluorescencia de rayos x, realizarlo a una distancia prudente del bunker de contención así no haya peligro de contaminación por radiación. Para conocer el compuesto total del material de fricción sean metálicos y orgánicos se deban hacer los ensayos por separados, puesto que no existe tal forma de saberlo en un solo ensayo de laboratorio actual.

En los ensayos de dureza se recomienda usar en una escala de Vickers, puesto que es más exacto para estos tipos de superficies, de la misma forma realizar mediciones en lugares dispersos por el área del material de fricción, así tener la confiabilidad de la dureza del material, en el ensayo de corte se recomienda realizar con mucho cuidado el corte de las probetas puesto que son materiales un poco frágiles al momento de manipular en tales dimensiones.

## BIBLIOGRAFÍA

**ABREU, J.L.** *El Método de la Investigación. Daena: International Journal of Good Conscience* [en línea], 2014, Mexico vol. 9, no. 3, pp. 195-204. [Consulta: 13 enero 2021 ] ISSN 1870-557X. Disponible en: [http://www.spentamexico.org/v9-n3/A17.9\(3\)195-204.pdf](http://www.spentamexico.org/v9-n3/A17.9(3)195-204.pdf).

**ACEROMAFE.** *Relevancia de la estabilidad dimensional en los plásticos* [blog]. México: Por Redacción Aceromafe febrero 16, 2021. [Consulta:15 octubre 2021]. Disponible en: <https://www.aceromafe.com/estabilidad-dimensional-plasticos/>

**ÁLVAREZ MEJÍA, Dayana Salomé, & Narváez Simbaña, Pablo Andrés.** Análisis del desgaste por abrasión del material de las pastillas de freno de vehículos disponibles en el mercado local mediante ensayos basados en la norma técnica ASTM g-65 para determinar su nivel de desgaste. [En línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Universidad Técnica del Norte, Facultad de Ingeniería en Ciencia Aplicadas, Carrera de Ingeniería en Mantenimiento Automotriz. Ibarra, Ecuador. 2020. pp. 1-155. [Consulta: 2 diciembre 2020]. Disponible en: <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/10221/2/04%20MAUT%20107%20TRABAJO%20GRADO.pdf>

**BOSCH.** Manual de la Técnica del Automóvil [En línea]. 3 ed. Barcelona-España: REVERTÉ, S.A; 1996. [Consulta: 3 diciembre 2020]. Disponible en: <https://julioestrepo.files.wordpress.com/2013/08/bosch-manual-de-la-tecnica-del-automovil-tercera-edicion.pdf>

**CASA B. ET AL.** “influencia de la temperatura sobre la resistencia al desgaste de pares idénticos de wc-co”. Departamento de Ciencia de los Materiales e Ingeniería Metalúrgica, [en línea], 2002, (España) volumen (número), 573.

**CHICO M; & TERÁN D.** Análisis de la eficiencia, desgaste y rendimiento de los frenos y neumáticos del bus articulado BYD K11a de 160 pasajeros. [En línea] (Trabajo de titulación). (Previo a la obtención del título), Universidad de las Fuerzas Armadas, Latacunga, Ecuador, 2019. pp. 96-103. [Consulta: 2020-11-9]. disponible en: <http://repositorio.espe.edu.ec/jspui/bitstream/21000/21167/1/T-ESPEL-MAI-0672.pdf>

**CASTRILLÓN, A; &MANRIQUE TORRES.** *Ensayos de dureza* [En línea].Bogota-Colombia. Editorial Pontificia Universidad Javerian, 2017. [Consulta:1 octubre 2021]. ISBM: 9789587813067 Disponible en: <https://elibro.net/es/ereader/epoch/145915?page=7>.

**CEGARRA JOSE.** *los metodos de investigacón* [En línea] . Madrid, Spain: Ediciones Díaz de Santos.2021. [Consulta: 13 enero 2021]. Disponible en: <https://elibro.net/es/ereader/epoch/62637?page=9>.

**BITTENCOURT, E.** "Estudio de pastillas de freno producidas con la sustitución parcial de la resina fenol-formaldehido por lignosulfonato de amonio".LACCEI [en línea],2018, (Colombia). pp. 3-5. [consulta: 19 noviembre 2020]. disponible en: <http://www.laccei.org/LACCEI2011->

Medellin/published/EM102\_Wirbitzki.pdf,

**DÁVILA NEWMAN**,. El razonamiento inductivo y deductivo dentro del proceso investigativo en ciencias experimentales y sociales. *Laurus*, en línea] 2012,vol. 12, pp. 180-205. [Consulta:4 febrero 2021]. ISSN 00222593. Disponible en: DOI 10.1136/jmg.13.6.469 2012.

**DIAZ del CASTILLO RODRIGUEZ, Felipe**. Tribología: Fricción, desgaste y lubricación. [En línea] Universidad Nacional Autónoma de México. Cuautitlán, México. 2007. pp. 1-27. [Consulta: 1 diciembre 2020]. Disponible en: <http://profefelipe.mex.tl/imagesnew/4/6/9/5/1/TRIBOLOGIA.pdf>

**GALDÓN RIBES, ET AL**. *Resistencia de materiales*. [En línea]. Valencia: Editorial de la Universidad Politécnica de Valencia, 2013. [Consulta:1 octubre 2021]. Disponible en:<https://elibro.net/es/ereader/epoch/175062?page=148>

**HENDRE ET AL**. "Frictional Characteristics of Brake Pad Materials Alternate to Asbestos". *International Journal of Engineering and Advanced Technology* [en línea], 2019, India, vol. 9, no. 2, pp. 694-698. [Consulta: 26 julio 2020]. ISSN: 2249 –8958. Disponible en: DOI 10.35940/ijeat.b3170.129219.

**HIGH POWER BRAKE**. *Manual técnico y de recomendaciones* [blog]. [Consulta: 16 febrero 2021]. Disponible en: <https://usermanual.wiki/Pdf/manualtecnicoyderecomendacioneshighpowerbrake.1757056386/view>

**LINARES OROZCO, Omar**. “La Tribología; Fricción, desgaste y lubricación”. Revista Tecnológica. [en línea], 2003, (Bolivia) 1(3), pp. 1-80. [Consulta: 2 diciembre 2020]. ISSN 1729-7532. Disponible en: <https://repositorio.umsa.bo/handle/123456789/1607>

**LOAYZA WILLIAN**. Análisis comparativo de un disco de freno original frente a un alterno para un vehículo Chevrolet Aveo mediante simulación y pruebas experimentales. (Trabajo de titulación) (maestría o doctoral). [En línea] Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Mecánica, Escuela de Ingeniería Automotriz. Riobamba - Ecuador. 2017. pp.73 -81. [Consulta: 9 noviembre 2020]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/6714>

**LÓPEZ CESAR** . Estudio de prefactibilidad para la producción de pastillas de freno en la provincia de tungurahua. (Trabajo de titulación)( Ingeniero Industrial en Procesos de Automatización). [en línea], Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería en Sistemas,.Carrera Ingeniería Industrial en Procesos de Automatización. Ambato -Ecuador.2013. pp. 10 [Consulta: 30 Noviembre 2020]. ISSN 1098-6596.. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/302>.

**NTE INEN 2185**: *materila de friccion para el sistema de freno automotrores requisitos inpeccion*

**MACHADO PINTO, Rafael L; et al**. “Análise comparativa do efeito térmico e do desgaste

sofrido por um material de fricção de freio a disco submetido a ensaios em bancada Krauss com variações de potência motora e condições operacionais". *Revista Materia*. [en línea], 2020, (Brasil) 25(3), pp. 1-11. [Consulta: 24 noviembre 2021]. ISBN 1517-7076. Disponible en: <https://doi.org/10.1590/S1517-707620200003.1109>

**MARTÍNEZ A; & TOASA W.** Análisis tribológico comparativo de pastillas de freno con fibras de vidrio y cabuya como materiales reemplazantes al amianto (Trabajo de titulación). (Ingeniero Automotriz), Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2019. pp. 75.

**MOTT, R.L.** *Mecánica de fluidos* [En línea]. (6a. ed.). Naucalpan de Juárez, México: Pearson Educación. 2006. [Consulta: 1 octubre 2021]. ISBN: 9789702608059 Disponible en: <https://elibro.net/es/ereader/epoch/74123?page=30>

**MURIAS DANIEL.** *La contaminación de los frenos, la gran olvidada: sus partículas finas son responsables de hasta el 55 % de las emisiones* [blog]. [Consulta: 14 abril 2021]. Disponible en: <https://www.motorpasion.com/industria/contaminacion-que-nadie-tiene-cuenta-particulas-finas-frenos-suponen-55-emisiones-nocivas>

**NTE INEN-ISO 6311** Vehículos automotores. revestimiento para frenos. método de ensayo para determinar la resistencia interna al corte.

**NTE INEN-ISO 6310.** instituto ecuatoriano de normalización vehículos automotores-revestimientos de freno-método de ensayo de la deformación por compresión.

**NTE INEN-ISO 6508-2** *materiales metálicos - ensayo de dureza rockwell - parte 2: verificación y calibración de las máquinas de ensayo (escalas a, b, c, d, e, f, g, h, k, n, t*

**ROAD HOUSE.** *La historia de la fricción a través de sus fechas claves.* [en línea]. [Consulta: 2 diciembre 2020]. Disponible en: <https://www.fmgbrakes.com/roadhouse/la-historia-de-la-friccion-a-traves-de-sus-fechas-claves/>.

**ROCHA-HOYOS, ET AL.** *Effect of the addition of biodiesel on the performance and opacity of a diesel engine*. *researchgate* [ línea], 2019, vol. 30, no. 3, pp. 137-146. [Consulta: 11 enero 2021]. ISSN 07180764. disponible en: DOI 10.4067/S0718-07642019000300137.

**RODRÍGUEZ GARCÍA; & NIETO SÁNCHEZ.** "Consideraciones para el diseño de un sistema diagnóstico de frenos de disco en un vehículo particular". *AVANCES <BR>Investigación en Ingeniería*, (2017), [ línea], vol. 14, pp. 76. [consultado: 17 de noviembre 2020 ], ISSN 1794-4953. disponible en : DOI 10.18041/1794-4953/avances.1.1286.

**ROSENBERGER ET AL** "Wear of different aluminum matrix composites under conditions that generate a mechanically mixed layer", *sciencedirect* [en línea], 2005, Buenos Aires, Argentina, pp 257. [Consulta: 12 noviembre 2021]. ISSN 0043-1648. Disponible en: [doi.org/10.1016/j.wear.2005.02.003](https://doi.org/10.1016/j.wear.2005.02.003).

**ROMERO GARCÍA; & MUSEROS ROMERO.** *Resistencia de materiales* [En línea]. Universitat Jaume I. Servei de Comunicació i Publicacions. (2002). [Consulta: 1 octubre 2021]. Disponible en: <https://elibro.net/es/ereader/epoch/104103?page=97>

**RIOS MOLESTINA, Edmundo Francisco, & RIVERA CRIOLLO, Carlos Luis.** Análisis mecánico del desgaste de las pastillas de freno en las motocicletas [En línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Universidad Internacional del Ecuador, Facultad de Ingeniería Mecánica Automotriz. Quito, Ecuador. 2017. pp. 1-94. [Consulta: 1 diciembre 2020]. Disponible en: <http://repositorio.uide.edu.ec/handle/37000/2409>

**SKOOG ET AL.** *Principios de analisis instrumental*, [en línea].5 ed, España: McGraw-Hill Interamericana de S.L, 2000. [Consulta: 12 enero 2021]. Disponible en: <https://www.agapea.com/libros/Principios-de-analisis-instrumental-5-Ed--9788448127756-i.htm>

**TORRES ALPIZAR, Eduardo.** Introducción al estudio de los mecanismos de desgaste mecánicos. [En línea] Universidad de Matanzas “Camilo Cienfuegos”. Matanzas, Cuba. 2012. pp. 1-20. [Consulta: 1 diciembre 2020]. Disponible en: <http://monografias.umcc.cu/monos/2012/Facultad%20de%20Ingenierias/mo12116.pdf>

**VINUEZA, Alexy F.; & GUTIÉRREZ, Nelson R.** “Análisis por el método de elementos finitos del comportamiento de las pastillas de freno ABS con base de acero y zinc discretizando el elemento continuo utilizando software CAE”. Scientific Engineering Journal. [en línea], 2018, (Ecuador) 9(1), pp. 1-16. [Consulta: 1 diciembre 2020]. ISSN 1390-6542. Disponible en: <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v9n1.259>

**WANG et al.** "Effect of graphite on properties of copper-based brake pads material made by powder metallurgy" researchgate. [en línea],(2012), Baltimore. vol. 30, no. [Consulta:9 noviembre 2020]. ISSN 10013784. disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/289039024\\_Effect\\_of\\_graphite\\_on\\_properties\\_of\\_copper-based\\_brake\\_pads\\_material\\_made\\_by\\_powder\\_metallurgy](https://www.researchgate.net/publication/289039024_Effect_of_graphite_on_properties_of_copper-based_brake_pads_material_made_by_powder_metallurgy)

**XIAO, Xingming; et al.** “Review on the friction and wear of brake materials”. Advances in Mechanical Engineering. [en línea], 2016, (United State of America) 8(5), pp. 1-10. [Consulta: 25 noviembre 2020]. ISSN 1687-8140. Disponible en: <https://doi.org/10.1177/1687814016647300>

**ZAMBRANO SANTOS, Steven Alexander, & VILÁÑEZ PONCE, Erick Fernando.** Análisis del desgaste de pastillas de frenos en comparativa entre 2500 metros de altura y a nivel del mar. [En línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Universidad Internacional del Ecuador, Facultad de Ingeniería Mecánica Automotriz. Quito, Ecuador. 2018. pp. 1-65. [Consulta: 1 noviembre 2021]. Disponible en: <https://repositorio.uide.edu.ec/bitstream/37000/2570/1/T-UIDE-1835.pdf>

## ANEXOS

### ANEXO A: Informe de resultados de CFPMCT del ensayo espectrometría



Centro de Fomento Productivo  
Metalmecánico Carrocero



Honorable Gobierno  
Provincial de Tungurahua

#### RECEPCIÓN E IDENTIFICACIÓN DE PROBETAS

<b>Informe N°:</b> 060375147020201214-ERX	
<b>DATOS DEL CLIENTE</b>	
<b>Empresa / Cliente:</b> Daniel Guanoluiza.	
<b>Dirección:</b> Chimborazo y Espejo, Riobamba.	
<b>Núm. de cédula/RUC:</b> 0603751470.	<b>Teléfono:</b> +593978900321.
<b>E-mail:</b> guanoluizadvgc@hotmail.com	

<b>DATOS INFORMATIVOS</b>
<b>Laboratorio:</b> Ensayos no destructivos.
<b>Designación del material:</b> Material metálico: Pastillas de freno semimetálicas.
<b>Método de ensayo:</b> ASTM E1085:2016: Método de prueba estándar para el análisis de los aceros de baja aleación por longitud de onda dispersiva de rayos X espectrometría de fluorescencia.

#### Número de Probetas cuantificadas.

N°	Identificación de probetas	Marca	Número de Probetas
1	060375147020201214-ERX 01	IMFRISA	1
2	060375147020201214-ERX 02	FMX	1
<b>Total</b>			<b>2</b>

**Nota:** El ensayo se desarrollará y ejecutará sin observaciones.

ENSAYO SOLICITADO			
No.	No. DE PROBETA	DESCRIPCIÓN	FECHA DE REPCIÓN
1	060375147020201214-ERX 01	Cumple criterios.	2021/01/26
2	060375147020201214-ERX 02	Cumple criterios.	2021/01/26

**DATOS INFORMATIVOS:** De acuerdo a los criterios de aceptación y rechazo las probetas cumplen con las dimensiones determinadas por el método desarrollado por el laboratorio.

**NOTA:** LA INFORMACIÓN CONSIGNADA EN ESTE FORMULARIO ES DE EXCLUSIVA RESPONSABILIDAD DEL CLIENTE. POSTERIORMENTE A LA EJECUCIÓN DEL(LOS) ENSAYO(S) NO SE ADMITIRÁ ARREGLOS DE ESTA INFORMACIÓN, NI DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS. FAVOR REVISAR ANTES DE SU FIRMA.

	
<b>Elaborado por:</b> Ing. Fernando Tibán R. Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC	<b>Aprobado por:</b> Ing. Jorge Rodas B. MEng. Director Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC
<b>Cliente</b>	

**LABORATORIO DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS  
ENSAYO DE COMPOSICIÓN QUÍMICA. ESPECTROMETRÍA  
POR FLUORESCENCIA DE RAYOS X**

**INFORME DE RESULTADOS N°: 060375147020201214-ERX**

**DATOS GENERALES**

**N° de proforma:** EN\_2020\_006.  
**Designación de material:** Material metálico: Pastillas de freno semimetálicas.  
**Empresa/Cliente:** Daniel Guanoluiza.  
**RUC/C.I.:** 0603751470.  
**Dirección:** Chimborazo y Espejo, Riobamba.  
**Teléfono:** +593978900321.  
**E-mail:** guanoluizadvgc@hotmail.com  
**Fecha de Inicio de Ensayo:** 26 de enero de 2021.  
 Los resultados obtenidos en el presente informe corresponden a ensayos realizados en muestras de *material metálico: Pastillas de freno semimetálicas*. El material fue recibido en el Laboratorio de Ensayos No destructivos del CFPMC del H. Gobierno Provincial de Tungurahua.

**OBJETOS DE ENSAYO**

**Número de Probetas cuantificadas.**

N°	Identificación de probetas	Marca	Número de Probetas
1	060375147020201214-ERX 01	IMFRISA	1
2	060375147020201214-ERX 02	FMX	1
<b>Total</b>			<b>2</b>

**Observaciones:** Las probetas para la ejecución del ensayo es responsabilidad del cliente.

**Nota:** Este informe no significa certificación de calidad, no debe ser reproducido total ni parcialmente.

	
<b>Elaborado por:</b> Ing. Fernando Tibán R. Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC	<b>Aprobado por:</b> Ing. Jorge Rodas B. MEng. Director Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC

**Lugar y fecha de emisión de Informe:** Ambato, 28 de enero de 2021.

**N° Factura:** 001-002-000010134.



### VERIFICACIÓN DE CALIBRACIÓN DEL EQUIPO

**Lugar de Ejecución de verificación:** Laboratorio de Ensayos No Destructivos (END)  
**Dirección:** Ambato/Catiglata. Río de Janeiro y Toronto.  
**Fecha de verificación:** 26 de enero de 2021.  
**Realizado por:** Ing. Fernando Tibán.

**Equipo utilizado:** Espectrómetro OLYMPUS DPO2000-C      **Serie:** 541828  
**Patrón de calibración:** Acero inoxidable 316. OLYMPUS  
**Serie:** 781-419-3900 Analytical Instruments  
**Código de identificación del patrón de verificación:** Waltham, MA 02453  
**Método de utilizado:** Comparación por Fluorescencia de Rayos X (XRF) por energía dispersiva (ED) de Materiales

**Resultado de la Verificación:** Aceptada.  
**Hora:** 15 horas 07 minutos.  
**Temperatura del ensayo:** 22,1 °C.  
**Conteos por segundo:** 36426.  
**Resolución (EV):** 146.  
**Ver:** Anexo 1. 01/26/21 #1

### MÉTODO DE ENSAYO

**Lugar de Ejecución del Ensayo:** Laboratorio de Ensayos No Destructivos (END).  
**Dirección:** Ambato/Catiglata. Río de Janeiro y Toronto.  
**Código del Informe:** 060375147020201214-ERX.  
**Fecha de Finalización de Ensayo:** 26 de enero de 2021.  
**Tipo de ensayo:** Cuantitativo.  
**Método de ensayo:** ASTM E1085 2016: Método de prueba estándar para el análisis de los aceros de baja aleación por longitud de onda dispersiva de rayos X espectrometría de fluorescencia.

**Equipo utilizado:** Espectrómetro OLYMPUS DPO2000-C      **Serie:** 541828  
**Temperatura del ensayo:** 22,5° C      **Energía:** 40 keV  
**Precisión:** 0,01      **Corriente de funcionamiento:** 0.2 mA



**Resultados del ensayo:**

**COMPOSICIÓN QUÍMICA POR ESPECTROMETRÍA XRF**

Probeta	Elementos										Material especificado	Evidencia
	Fe.	Tl.	V.	Mn.	Zr.	Cu.						
060375147020201214-ERX 01	% Contenido	92,17	4,05	2,59	0,76	0,289	0,15	*No Especificado en la librería de materiales del equipo.				Anexo 2. 01/26/21 #2
	+/- Error	0,14	0,11	0,08	0,04	0,009	0,02					

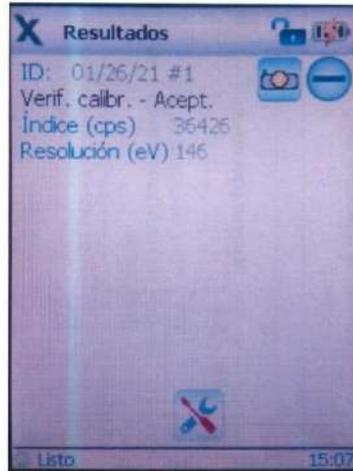
Probeta	Elementos										Material especificado	Evidencia
	Fe.	Zr.	Cu.	Tl.	V.	Zn.	Cr.	Pb.	Mn.			
060375147020201214-ERX 02	% Contenido	69,91	9,14	5,97	4,91	3,10	3,03	1,85	1,22	0,88	*No Especificado en la librería de materiales del equipo.	
	+/- Error	0,27	0,08	0,14	0,20	0,14	0,09	0,10	0,05	0,08		

**Nota:** El ensayo se desarrolló y ejecuto sin observaciones.

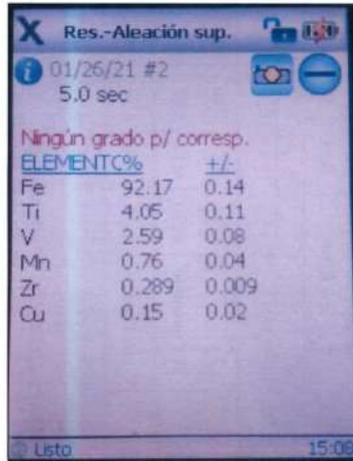


**Anexos.**

Ver: Anexo 1. 01/26/21 #1



Anexo 2. 01/26/21 #2



Anexo 3. 01/26/21 #3



Res.-Aleación sup.

01/26/21 #3  
5.0 sec

Ningún grado p/ corresp.

ELEMENTO	%	+/-
Fe	69.91	0.27
Zr	9.14	0.08
Cu	5.97	0.14
Ti	4.91	0.20
V	3.10	0.14
Zn	3.03	0.09
Cr	1.85	0.10
Pb	1.22	0.05
Mn	0.88	0.08

Listo 15:08



Centro de Fomento Productivo  
Metalmeccánico Carrocero



Honorable Gobierno  
Provincial de Tungurahua

### HOJA DE ALMACENAMIENTO DE MUESTRAS

<b>Informe N°:</b> 060375147020201214-ERX
<b>DATOS DEL CLIENTE</b>
<b>Empresa / Cliente:</b> Daniel Guanoluiza.
<b>Dirección:</b> Chimborazo y Espejo, Riobamba.
<b>Núm. de cédula/RUC:</b> 0603751470.
<b>E-mail:</b> guanoluizadvgc@hotmail.com
<b>Teléfono:</b> +593978900321.

#### **DATOS INFORMATIVOS**

**Laboratorio** Ensayos no destructivos.

**Designación del material:** Material metálico: Pastillas de freno semimetálicas.

**Método de ensayo:** ASTM E1085:2016: Método de prueba estándar para el análisis de los aceros de baja aleación por longitud de onda dispersiva de rayos X espectrometría de fluorescencia.

N°	IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	FECHA INGRESO	FECHA ELIMINACIÓN	RESPONSABLE	OBSERVACIONES	EVIDENCIAS
1	060375147020201214-ERX 01	2021/01/26	2021/01/28	Cliente	Se entrega al cliente	

Código: RG-EN-005  
Fecha de Elaboración: 18-06-2018  
Fecha de última aprobación: 18-06-2018  
Revisión: 1

HOJA DE ALMACENAMIENTO DE MUESTRAS

Página 1 de 2

N°	IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	FECHA INGRESO	FECHA ELIMINACIÓN	RESPONSABLE	OBSERVACIONES	EVIDENCIAS
2	060375147020201214-ERX-02	2021/01/26	2021/01/28	Cliente	Se entrega al cliente	

Las muestras analizadas por acuerdo son entregadas al cliente, el CFPMC no se responsabiliza por el mantenimiento y almacenamiento de la misma, quedando a responsabilidad del cliente su resguardo.

	
<b>Elaborado por:</b> Ing. Fernando Tibán R. Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC	<b>Aprobado por:</b> Ing. Jorge Rodas B. MEng. Director Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC
	
Cliente	

## ANEXO B: Informe de resultados CFPMCT del ensayo de Dureza



### RECEPCIÓN E IDENTIFICACIÓN DE MUESTRAS

<b>Informe N°:</b> 060375147020201214-EDR	
<b>DATOS DEL CLIENTE</b>	
<b>Empresa / Cliente:</b> Daniel Guanoluiza.	
<b>Dirección:</b> Chimborazo y Espejo, Riobamba.	
<b>Núm. de cédula / RUC:</b> 0603751470.	<b>Teléfono:</b> +593978900321.
<b>E-mail:</b> guanoluizadvgc@hotmail.com	

<b>DATOS INFORMATIVOS</b>
<b>Laboratorio:</b> Análisis Metalográfico
<b>Designación del material:</b> Material metálico: Pastillas de freno semimetálicas.
<b>Método de ensayo:</b> NTE INEN ISO 6508-1.- Materiales metálicos - Ensayo de dureza Rockwell - Parte 1: Método de ensayo (ISO 6508-1:2005).

#### Número de Probetas cuantificadas:

N°	Identificación de probetas	Marca	Indentaciones por probeta	Número de Probetas
1	060375147020201214-EDR 01	IMFRISA	3	1
2	060375147020201214-EDR 02	FMX	3	1
<b>Total</b>			<b>6</b>	<b>2</b>

**Nota:** La fabricación de las probetas en tipo, cantidad y configuración es declarada por el cliente.

ENSAYO SOLICITADO			
No.	No. DE PROBETA	DESCRIPCIÓN	FECHA RECEPCIÓN
1	060375147020201214-EDR 01	Cumple criterios dimensionales	2021/01/26
2	060375147020201214-EDR 02	Cumple criterios dimensionales	2021/01/26

**DATOS INFORMATIVOS:** De acuerdo a los criterios de aceptación y rechazo las probetas cumplen con el número mínimo de muestras para el ensayo y en las dimensiones.

**NOTA:** LA INFORMACIÓN CONSIGNADA EN ESTE FORMULARIO ES DE EXCLUSIVA RESPONSABILIDAD DEL CLIENTE. POSTERIORMENTE A LA EJECUCIÓN DEL(LOS) ENSAYO(S) NO SE ADMITIRÁ ARREGLOS DE ESTA INFORMACIÓN NI DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS. FAVOR REVISAR ANTES DE SU FIRMA.

	
<b>Elaborado por:</b> Ing. Fernando Tibán R. Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC	<b>Aprobado por:</b> Ing. Jorge Rodas B. MEng. Director Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC
Cliente	



**LABORATORIO DE ANÁLISIS METALGRÁFICO**  
**ENSAYO DE DUREZA ROCKWELL**

**INFORME DE RESULTADOS N°: 060375147020201214-EDR**

**DATOS GENERALES**

**N° de proforma:** AM\_2020\_013.  
**Empresa/Cliente:** Daniel Guanoluiza.  
**RUC/C.I.:** 0603751470.  
**Dirección:** Chimborazo y Espejo, Riobamba. **Teléfono:** +593978900321.  
**E-mail:** guanoluizadvgc@hotmail.com

**DATOS DEL ENSAYO**  
**Lugar de Ejecución del Ensayo:** Laboratorio de Análisis Metalográfico.  
**Dirección:** Ambato/Catiglata. Río de Janeiro y Toronto.  
**Método de ensayo:** NTE INEN ISO 6508-1.- Materiales metálicos - Ensayo de dureza Rockwell - Parte 1: Método de ensayo (ISO 6508-1:2005).  
**Equipo utilizado:** Durómetro ERNST. **Modelo:** NR3 DR. **Serie:** 4651.  
**Tipo de ensayo:** Cuantitativo. **Tiempo de duración de la fuerza:** 10 s.  
**Última verificación de máquina:** RG-AM-003.  
**Fuerza aplicada:** 588,4 N. **Diámetro de indentador:** 12,7 mm.  
**Escala:** Rockwell R.  
**Fecha Inicio de Ensayo:** 2021/01/26. **Fecha Finalización de Ensayo:** 2020/01/26.  
Los resultados obtenidos en el presente informe corresponden a ensayos realizados en *probetas de material metálico: Pastillas de freno semimetálicas*. La recepción de las muestras se efectuó en el Laboratorio de Análisis Metalográfico del CFPMC del H. Gobierno Provincial de Tungurahua.

**OBJETOS DE ENSAYO**

**Número de Probetas cuantificadas.**

N°	Identificación de probetas	Marca	Indentaciones por probeta	Número de Probetas
1	060375147020201214-EDR 01	IMFRISA	3	1
2	060375147020201214-EDR 02	FMX	3	1
<b>Total</b>			<b>6</b>	<b>2</b>

**Nota:** La declaración de la designación del material es de responsabilidad del cliente. Este informe no significa certificación de calidad, no debe ser reproducido total ni parcialmente.

<b>Elaborado por:</b> Ing. Fernando Tibán R. Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC	<b>Aprobado por:</b> Ing. Jorge Rodas B. MEng. Director Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC

**Lugar y fecha de emisión de Informe:** Ambato, 28 de enero de 2021.  
**N° Factura:** 001-002-000010133.



Centro de Fomento Productivo  
Metalmeccánico Carrocerio



Honorable Gobierno  
Provincial de Tumburahua

Resultados:

Probeta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dureza Rockwell R	
				Puntos	Medición
1	060375147020201214-EDR 01	21,8	58,5	1	107,7
				2	113,4
				3	112,4
				Promedio $\bar{X}$	111,167
				Desviación estándar $S_{n-1}$	60,927
				Coficiente de variación CV	54,806

Probeta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dureza Rockwell R	
				Puntos	Medición
2	060375147020201214-EDR 02	21,7	58,9	1	88,4
				2	92,2
				3	88,5
				Promedio $\bar{X}$	89,700
				Desviación estándar $S_{n-1}$	49,155
				Coficiente de variación CV	54,799

Observaciones del ensayo: Ninguna



Centro de Fomento Productivo  
Metalmeccánico Carracero



Honorable Gobierno  
Provincial de Tungurahua

### HOJA DE ALMACENAMIENTO DE MUESTRAS

Informe N°: 060375147020201214-EDR

#### DATOS DEL CLIENTE

Empresa / Cliente: Daniel Guanoluiza.

Dirección: Chimborazo y Espejo, Riobamba.

Núm. de cédula / RUC: 0603751470.

E-mail: guanoluizadvgc@hotmail.com

Teléfono: +593978900321.

#### DATOS INFORMATIVOS

Laboratorio: Análisis Metalográfico

#### Designación del material:

Material metálico: Pastillas de freno semimetálicas.

#### Método de ensayo:

NTE INEN ISO 6508-1.- Materiales metálicos - Ensayo de dureza Rockwell - Parte 1: Método de ensayo (ISO 6508-1:2005).

N°	IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	FECHA INGRESO	FECHA ELIMINACIÓN	RESPONSABLE	OBSERVACIONES	EVIDENCIAS
1	060375147020201214-EDR 01	2021/01/26	2021/01/28	Cliente	Se entrega al cliente	

Código: RG-AM-009

Fecha de Elaboración: 22-05-2018

Fecha de última aprobación: 22-05-2018

Revisión: 1

HOJA DE ALMACENAMIENTO DE MUESTRAS

Página 1 de 2



Centro de Fomento Productivo  
Metalmeccánico Carrocero



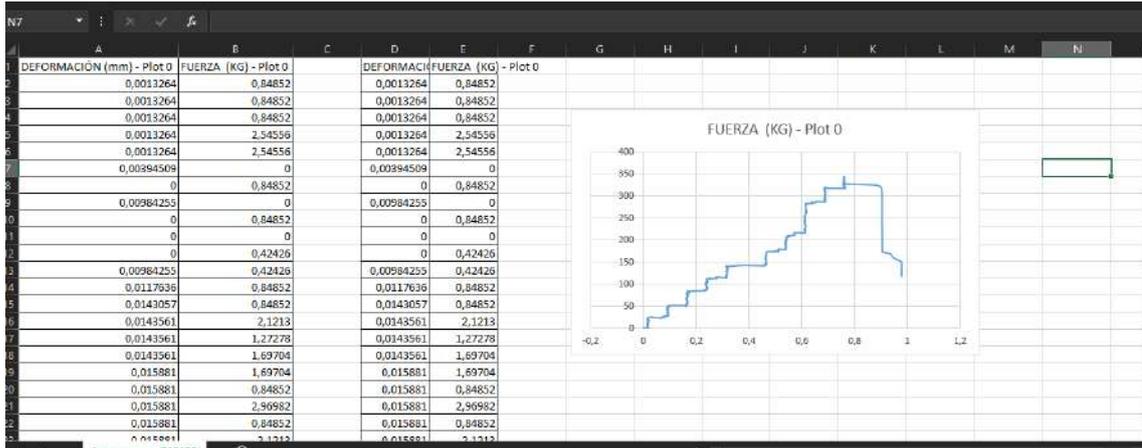
Honorable Gobierno  
Provincial de Tungurahua

Nº	IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	FECHA INGRESO	FECHA ELIMINACIÓN	RESPONSABLE	OBSERVACIONES	EVIDENCIAS
2	060375147020201214-EDR 02	2021/01/26	2021/01/28	Cliente	Se entrega al cliente	

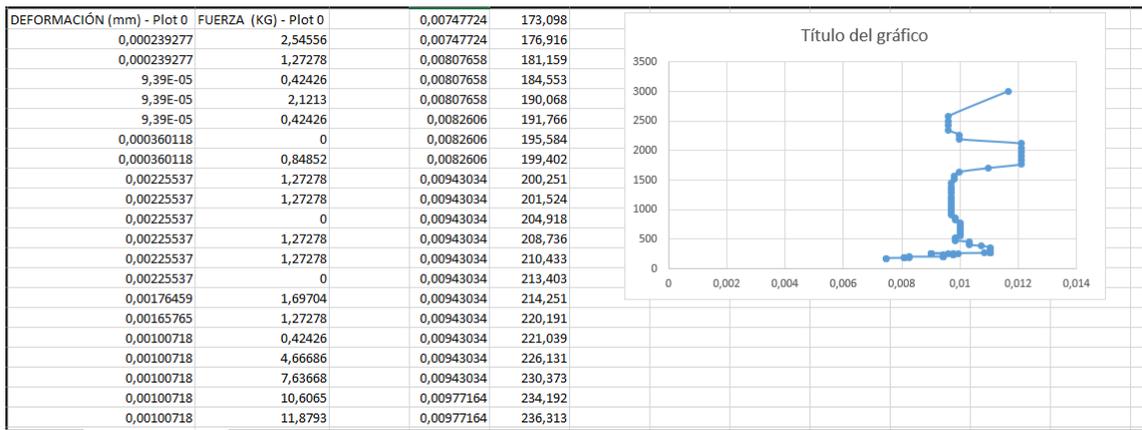
Las probetas por acuerdo son entregadas al cliente, el CFPMC no se responsabiliza por el mantenimiento y almacenamiento, quedando a responsabilidad del cliente su resguardo.

	
<b>Elaborado por:</b> Ing. Fernando Tibán R. Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC	<b>Aprobado por:</b> Ing. Jorge Rodas B. MEng. Director Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC
Cliente	

### ANEXO C: Registro del ensayo de corte de la probeta 1



### ANEXO D: Registro del ensayo de deformación de la probeta 1



**ANEXO E:** Masa inicial de las pastillas de freno.

N° de probeta	ASBESTO	CARBÓN	METÁLICAS	CERÁMICA
	Masa inicial (gr)	Masa inicial (gr)	Masa inicial (gr)	Masa inicial (gr)
1	41,9742	45,1164	53,9452	34,1218
2	41,5642	45,9772	53,2771	34,9742
3	41,7121	45,0175	53,4259	34,4977
4	41,5661	45,1874	53,3142	34,2490
5	41,5412	45,2591	53,2875	34,6745
6	41,9651	45,8743	53,5234	34,7527
7	41,6321	45,9125	53,3126	34,2316
8	41,8512	45,8821	53,7653	34,5284
9	41,6521	45,8215	53,1297	34,3915
10	41,9551	45,9135	53,6722	34,7541
11	41,5211	45,8215	53,7539	34,1895
12	41,6228	45,5514	53,9156	34,1352
13	41,7521	45,4258	53,3946	34,2845
14	41,8521	45,0195	53,6542	34,6216
15	41,8712	45,1266	53,2459	34,3751
16	41,9557	45,3658	53,8231	34,4328
17	41,7841	45,3875	53,7932	34,8569
18	41,9851	45,7152	53,6124	34,1572
19	41,8426	45,8125	53,1895	34,7982
20	41,7526	45,3569	53,2533	34,9130

Realizado por: (Mejía; & Simbaña 2020)

**ANEXO F:** Cálculo de masa perdida de las pastillas de asbesto, carbón, cerámica y metálica.

ASBESTO			
N. Probeta	Masa inicial (gr)	Masa final (gr)	Diferencia de masas (gr)
1	41,9742	38,5044	3,4698
2	41,5642	38,2791	3,2851
3	41,7121	37,9552	3,7569
4	41,5661	38,2097	3,3564
5	41,5412	38,2754	3,2658
6	41,9651	38,2527	3,7124
7	41,6321	38,0626	3,5695
8	41,8512	38,1638	3,6874
9	41,6521	39,2869	2,3652
10	41,9551	38,5426	3,4125
11	41,5211	37,8556	3,6655
12	41,6228	37,8749	3,7479
13	41,7521	38,1899	3,5622
14	41,8521	38,6006	3,2515
15	41,8712	38,1297	3,7415
16	41,9557	38,4622	3,4935
17	41,7841	38,1213	3,6628
18	41,9851	38,4437	3,5414
19	41,8426	38,5479	3,2947
20	41,7526	38,3672	3,3854

Realizado por: (Mejía; & Simbaña 2020)

CARBÓN			
N. Probeta	Masa inicial (gr)	Masa final (gr)	Diferencia de masas (gr)
1	45,1164	42,4042	2,7122
2	45,9772	43,5004	2,4768
3	45,0175	42,2039	2,8136
4	45,1874	42,6912	2,4962
5	45,2591	42,4696	2,7895
6	45,8743	43,0702	2,8041
7	45,9125	43,2574	2,6551
8	45,8821	43,3599	2,5222
9	45,8215	43,2230	2,5985
10	45,9135	43,3294	2,5841
11	45,8215	43,2093	2,6122
12	45,5514	42,8414	2,7100
13	45,4258	42,8273	2,5985
14	45,0195	42,5207	2,4988
15	45,1266	42,4112	2,7154
16	45,3658	42,6774	2,6884
17	45,3875	42,5731	2,8144
18	45,7152	43,1439	2,5713
19	45,8125	43,3443	2,4682
20	45,3569	42,8758	2,4811

Realizado por: (Mejía; & Simbaña 2020)

CERAMICA			
N. Probeta	Masa inicial (gr)	Masa final (gr)	Diferencia de masas (gr)
1	34,1218	30,3655	3,7563
2	34,9742	31,1246	3,8496
3	34,4977	30,6178	3,8799
4	34,2490	30,9512	3,2978
5	34,6745	30,7654	3,9091
6	34,7527	30,9982	3,7545
7	34,2316	31,1497	3,0819
8	34,5284	31,1846	3,3438
9	34,3915	30,9843	3,4072
10	34,7541	30,8654	3,8887
11	34,1895	30,7632	3,4263
12	34,1352	30,9023	3,2329
13	34,2845	30,9764	3,3081
14	34,6216	30,8852	3,7364
15	34,3751	30,6543	3,7208
16	34,4328	30,7992	3,6336
17	34,8569	31,0917	3,7652
18	34,1572	30,9610	3,1962
19	34,7982	30,9914	3,8068
20	34,9130	30,7345	3,9307

Realizado por: (Mejía; & Simbaña 2020)

METÁLICAS			
N. Probeta	Masa inicial (gr)	Masa final (gr)	Diferencia de masas (gr)
1	53,9452	51,7578	2,1874
2	53,2771	50,8490	2,4281
3	53,4259	51,0745	2,3514
4	53,3887	51,3465	2,0422
5	53,5692	51,1583	2,4109
6	53,7321	51,2411	2,4910
7	53,3095	50,6590	2,6505
8	53,8976	51,7084	2,1892
9	53,6549	51,3412	2,3137
10	53,7685	51,8548	1,9137
11	53,2996	50,9087	2,3909
12	53,3974	50,9875	2,4099
13	53,5768	51,1121	2,4647
14	53,8751	51,0532	2,8219
15	53,6750	51,1875	2,4875
16	53,4976	51,0799	2,4177
17	53,5848	51,6497	1,9351
18	53,7539	51,8501	1,9038
19	53,9032	51,4953	2,4079
20	53,7032	51,3128	2,3904

Realizado por: (Mejía; & Simbaña 2020)

**ANEXO G:** Resultados expresados en perdida de volumen.

N. PROBETA	ASBESTO (cm <sup>3</sup> )	CARBÓN (cm <sup>3</sup> )	CERÁMICA (cm <sup>3</sup> )	METÁLICA (cm <sup>3</sup> )
1	1,713	1,453	1,902	0,6900
2	1,622	1,327	1,949	0,7660
3	1,855	1,507	1,965	0,7418
4	1,657	1,337	1,670	0,6442
5	1,613	1,494	1,979	0,7605
6	1,833	1,502	1,901	0,7858
7	1,763	1,422	1,561	0,8361
8	1,821	1,351	1,693	0,6906
9	1,668	1,392	1,725	0,7299
10	1,685	1,384	1,969	0,6037
11	1,810	1,399	1,735	0,7542
12	1,851	1,452	1,637	0,7602
13	1,759	1,392	1,675	0,7775
14	1,606	1,338	1,892	0,8902
15	1,848	1,454	1,884	0,7847
16	1,725	1,440	1,840	0,7627
17	1,809	1,507	1,907	0,6104
18	1,749	1,377	1,618	0,6006
19	1,627	1,322	1,928	0,7596
20	1,672	1,329	1,990	0,7541

Realizado por: (Mejía; & Simbaña 2020)

**ANEXO H:** Registro de peso de cada ciclo del ensayo experimental

Peso en gramos				
FMX		IMFRISA		
Interna	Externa	Externa	Interna	
<b>CICLO 1</b>	269	271	314	317
	270	270	313	317
	269	270	313	316
	269	270	313	317
	269	271	314	316
	<b>269,20</b>	<b>270,40</b>	<b>313,40</b>	<b>316,60</b>
<b>CICLO 2</b>	267	269	312	315
	268	269	313	316
	267	269	313	315
	268	269	312	315
	268	268	312	315
	<b>267,60</b>	<b>268,80</b>	<b>312,40</b>	<b>315,20</b>
<b>CICLO 3</b>	267	268	312	315
	267	268	313	315
	266	268	312	314
	267	268	312	315
	266	268	312	315
	<b>266,60</b>	<b>268,00</b>	<b>312,20</b>	<b>314,80</b>
<b>CICLO 4</b>	265	266	310	313
	264	265	309	312
	265	265	310	313
	265	266	309	314
	265	265	310	313
	<b>264,80</b>	<b>265,40</b>	<b>309,60</b>	<b>313,00</b>
<b>CICLO 5</b>	264	265	309	313
	265	265	310	313
	264	265	309	313
	264	265	309	312
	264	265	309	313
	<b>264,20</b>	<b>265,00</b>	<b>309,20</b>	<b>312,80</b>
<b>CICLO 6</b>	263	264	308	313
	263	265	308	312
	264	264	307	312
	263	264	308	313
	263	265	308	312
	<b>263,20</b>	<b>264,40</b>	<b>307,80</b>	<b>312,40</b>
<b>CICLO 7</b>	261	260	305	311
	261	260	304	311
	261	260	305	312
	261	260	305	311
	261	261	305	311
	<b>261,00</b>	<b>260,20</b>	<b>304,80</b>	<b>311,20</b>
<b>CICLO 8</b>	258	256	305	310
	258	257	304	309
	259	256	304	310
	259	256	304	310
	258	257	30	310
	<b>258,40</b>	<b>256,40</b>	<b>304,20</b>	<b>309,80</b>
<b>CICLO 9</b>	257	254	303	309
	257	254	304	309
	257	254	303	309
	257	254	304	309
	257	254	303	309
	<b>257,00</b>	<b>254,00</b>	<b>303,40</b>	<b>309,00</b>



**epoch**

**Dirección de Bibliotecas y  
Recursos del Aprendizaje**

**UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y  
DOCUMENTAL**

**REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA**

**Fecha de entrega:** 29 / 04 / 2022

<b>INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)</b>
<b>Nombres – Apellidos:</b> DANIEL VINICIO GUANOLUIZA CAZCO JONATHAN CHRISTIAN MOROCHO MOROCHO
<b>INFORMACIÓN INSTITUCIONAL</b>
<b>Facultad:</b> MECÁNICA
<b>Carrera:</b> INGENIERÍA AUTOMOTRIZ
<b>Título a optar:</b> INGENIERO AUTOMOTRIZ
<b>f. Analista de Biblioteca responsable:</b> Lcdo. Holger Ramos, MSc.

0338-DBRA-UPT-2022