



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE MECÁNICA**

**CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**“ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA INCIDENCIA DE  
MATERIALES DE LAS PASTILLAS DE FRENO EN LA  
EFICIENCIA DEL FRENADO EN UN VEHÍCULO”**

**Trabajo de Integración Curricular**

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO AUTOMOTRIZ**

**AUTORES:**

**JONATHAN HARLEY ARTEAGA RAMÓN**

**DARWIN STEEVEN HEREDIA PAGUAY**

Riobamba – Ecuador

2022



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE MECÁNICA**

**CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**“ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA INCIDENCIA DE  
MATERIALES DE LAS PASTILLAS DE FRENO EN LA  
EFICIENCIA DEL FRENADO EN UN VEHÍCULO”**

**Trabajo de Integración Curricular**

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO AUTOMOTRIZ**

**AUTORES: JONATHAN HARLEY ARTEAGA RAMÓN**

**DARWIN STEEVEN HEREDIA PAGUAY**

**DIRECTOR: Ing. RODRIGO RIGOBERTO MORENO PALLARES**

Riobamba – Ecuador

2022

**©2022, Jonathan Harley Arteaga Ramón & Darwin Steeven Heredia Paguay**

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

Nosotros, JONATHAN HARLEY ARTEAGA RAMÓN & DARWIN STEEVEN HEREDIA PAGUAY, 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 titulación; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 13 de julio de 2022






**Jonathan Harley Arteaga Ramón**  
**1400949804**



**Darwin Steeven Heredia Paguay**  
**0751031576**

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

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Proyecto de Investigación: **ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA INCIDENCIA DE MATERIALES DE LAS PASTILLAS DE FRENO EN LA INCIDENCIA DEL FRENADO EN UN VEHÍCULO**, realizado por los señores: **JONATHAN HARLEY ARTEAGA RAMÓN & DARWIN STEEVEN HEREDIA PAGUAY** ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos y legales; en tal virtud el Tribunal autoriza su presentación.

	<b>FIRMA</b>	<b>FECHA</b>
Ing. Milton Israel Quinga Morales <b>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</b>		2022 – 07 – 13
Ing. Rodrigo Rigoberto Moreno Parrales <b>DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR</b>		2022 – 07 – 13
Ing. Mario Efraín Audelo Guevara <b>MIEMBRO DEL TRIBUNAL</b>		2022 – 07 – 13

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo de titulación le dedico principalmente a Dios, por ser el dueño de mi vida inspirándome y dándome la fuerza para continuar en este proceso de obtener uno de mis anhelos más deseados. A mis padres Jonathan Arteaga y Oliva Ramón quienes han sido un pilar fundamental en mi vida, con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, gracias por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y valentía, de no temer a las adversidades. A mis hermanos Jessiel y Jair por su cariño y apoyo incondicional, durante todo este proceso, por estar conmigo en todo momento gracias. A toda mi familia porque con sus oraciones, consejos y palabras de aliento hicieron de mí una mejor persona y de una u otra forma me acompañan en todos mis sueños y metas. Finalmente quiero dedicar esta tesis a todas mis amigos y docentes, por apoyarme cuando más los necesito, por extender su mano en momentos difíciles y por el amor brindado cada día, de verdad mil gracias.

**Jonathan**

El presente trabajo de titulación se lo dedico a Dios por darme las aptitudes necesarias en el largo proceso de la formación en mi carrera, a mis padres Irma y Darwin quienes me apoyaron en todo momento, ellos me han aconsejado y me brindaron su apoyo moral y económico para culminar todas las etapas de mis estudios. También se lo dedico a mi hermana Damaris, familiares y a los docentes quienes han sabido aportar con sus conocimientos en mi formación profesional.

**Darwin**

## **AGRADECIMIENTO**

El más sincero agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, quien me dio la oportunidad de ser parte de la institución y de cumplir mi meta académica de ser un gran profesional y compartir mis conocimientos.

Agradezco a mi director de tesis quien siempre estuvo presente en cada uno de nuestros procesos de titulación, brindando sus conocimientos y ayudándonos a lograr un mejor resultado

También agradezco a mis padres por su apoyo en todo mi proceso de formación, al igual agradezco a las autoridades de institución por su gran labor con el estudiante para formar profesionales competentes.

**Darwin**

## TABLA DE CONTENIDO

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

### CAPÍTULO 1

<b>1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....</b>	<b>2</b>
<b>1.1. Justificación .....</b>	<b>2</b>
<b>1.2. Planteamiento del problema.....</b>	<b>5</b>
<b>1.3. Objetivos.....</b>	<b>7</b>
<b>1.3.1. Objetivo General .....</b>	<b>7</b>
<b>1.3.2. Objetivos específicos.....</b>	<b>7</b>
<b>1.4. Hipótesis.....</b>	<b>7</b>
<b>1.5. Estado del Arte.....</b>	<b>7</b>
<b>1.5.1. Introducción a las pastillas de freno.....</b>	<b>7</b>
<b>1.5.2. Características de los materiales de fricción .....</b>	<b>8</b>
<b>1.5.3. Componentes de las pastillas de freno .....</b>	<b>9</b>
<b>1.5.4. Formulación de los materiales de fricción de las pastillas .....</b>	<b>9</b>
<b>1.5.4.1. Formulación de pastillas semimetálicas .....</b>	<b>9</b>
<b>1.5.4.2. Formulación de pastillas bajas en metal.....</b>	<b>10</b>
<b>1.5.4.3. Formulación de pastillas cerámicas .....</b>	<b>10</b>
<b>1.5.4.4. Formulación de pastillas de carbono.....</b>	<b>10</b>
<b>1.5.4.5. El cobre en las pastillas de freno .....</b>	<b>11</b>
<b>1.5.5. Rendimiento de fricción .....</b>	<b>11</b>
<b>1.5.6. Mantenimiento de las pastillas de frenos.....</b>	<b>12</b>
<b>1.5.7. Estudio de mercado .....</b>	<b>12</b>
<b>1.5.7.1. Identificación del producto que hay en el mercado.....</b>	<b>13</b>
<b>1.5.8. Volumen de perdida de cada material de pastillas .....</b>	<b>14</b>
<b>1.5.9. Impacto Ambiental.....</b>	<b>15</b>



<b>1.5.10.</b>	<b>Modelo de elementos finitos</b> .....	15
<b>1.5.11.</b>	<b>Funcionamiento en seco y húmedo</b> .....	16
<b>1.5.12.</b>	<b>Análisis sobre el sistema de frenos</b> .....	17
<b>1.5.12.1.</b>	<b>Análisis del chirrido del freno del freno de disco</b> .....	17
<b>1.5.12.2.</b>	<b>Análisis termodinámico en discos de freno</b> .....	17
<b>1.5.12.3.</b>	<b>Análisis de la temperatura de un disco de freno convencional ventilado vs un disco hiperventilado mediante mecanizado</b> .....	18
<b>1.5.12.4.</b>	<b>Análisis comparativo de dureza de probetas de freno con fibra de vidrio, con cabuya y amianto</b> .....	19
<b>1.5.12.5.</b>	<b>Análisis mecánico del desgaste de las pastillas de freno en las motocicletas</b> .....	20
<b>1.5.12.6.</b>	<b>Convergencia de la carga en los discos</b> .....	20
<b>1.5.13.</b>	<b>Desarrollo de fibras naturales</b> .....	21
<b>1.5.13.1.</b>	<b>Fibras de Caryota</b> .....	21
<b>1.5.13.2.</b>	<b>Fibras de concha de Bígara</b> .....	22
<b>1.5.13.3.</b>	<b>Rendimiento del polvo de cáscara de cangrejo</b> .....	23
<b>1.5.13.4.</b>	<b>Fibra de plátano lignocelulósica</b> .....	23
<b>1.5.13.5.</b>	<b>Fibra de palmiste y caña de madera</b> .....	24
<b>1.5.13.6.</b>	<b>Compuesto cerámico reciclado</b> .....	24

## **CAPÍTULO II**

<b>2.</b>	<b>MARCO METODOLÓGICO</b> .....	26
<b>2.1.</b>	<b>Método inductivo-deductivo</b> .....	26
<b>2.2.</b>	<b>Método científico</b> .....	26
<b>2.3.</b>	<b>Metodología cuantitativa</b> .....	28
<b>2.4.</b>	<b>Pre-procedimiento</b> .....	30
<b>2.4.1.</b>	<b>Tipos de variables</b> .....	30
<b>2.4.1.1.</b>	<b>Variables independientes</b> .....	30
<b>2.4.1.2.</b>	<b>Variables dependientes</b> .....	30
<b>2.4.2.</b>	<b>Selección de los tipos de pastillas a estudiar</b> .....	30
<b>2.4.2.1.</b>	<b>Pastillas semimetálicas</b> .....	31
<b>2.4.2.2.</b>	<b>Pastillas de Carbono</b> .....	31
<b>2.4.2.3.</b>	<b>Pastillas Cerámicas</b> .....	32
<b>2.4.3.</b>	<b>Selección de vehículos</b> .....	32
<b>2.4.3.1.</b>	<b>Especificaciones del primer vehículo seleccionado</b> .....	35
<b>2.4.3.2.</b>	<b>Especificaciones del segundo vehículo escogido</b> .....	36
<b>2.5.</b>	<b>Estudio del banco de pruebas</b> .....	36

2.5.1.	<i>Características del banco frenómetro de pruebas</i> .....	37
2.5.2.	<i>Elementos del banco de prueba</i> .....	38
2.5.3.	<i>Norma de cumplimiento</i> .....	38
2.5.4.	<i>Pruebas disponibles</i> .....	39
2.5.5.	<i>Protocolos de ensayo</i> .....	40
2.6.	<b>Análisis estadístico y obtención de datos</b> .....	40
2.6.1.	<i>Preparación del equipo de ensayo</i> .....	40
2.6.2.	<i>Condiciones de prueba y operación de ensayo</i> .....	40
2.6.3.	<i>Registro del software.</i> .....	41
2.6.4.	<i>Análisis de resultados y obtención de graficas características</i> .....	41
2.6.4.1.	<i>Eficiencia de frenado</i> .....	42
2.6.4.2.	<i>Desequilibrio de ejes</i> .....	42
2.6.5.	<i>Comparación de resultados.</i> .....	42

### CAPÍTULO III

3.	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS</b> .....	43
3.1.	<b>Resultados</b> .....	43
3.1.1.	<i>Resultados en Toyota Hilux</i> .....	43
3.1.1.1.	<i>Resultados con pastillas de carbono</i> .....	44
3.1.1.2.	<i>Resultados con pastillas de cerámica</i> .....	45
3.1.1.3.	<i>Resultados con pastillas semi metálicas</i> .....	45
3.1.2.	<i>Resultados en Aveo Family</i> .....	46
3.1.2.1.	<i>Resultados con pastillas de carbono</i> .....	47
3.1.2.2.	<i>Resultados con pastillas de cerámica</i> .....	48
3.1.2.3.	<i>Resultados con pastillas semi metálicas</i> .....	49
3.1.3.	<i>Eficiencia de frenado en el vehículo Toyota Hilux</i> .....	50
3.1.3.1.	<i>Fuerza de frenado en el eje delantero</i> .....	51
3.1.4.	<i>Eficiencia de frenado en el vehículo Aveo Family</i> .....	52
3.1.4.1.	<i>Fuerza de frenado en el eje delantero</i> .....	54
3.2.	<b>Análisis y discusión de resultados</b> .....	55
3.2.1.	<i>Análisis bajo la norma NTE INEN 2185</i> .....	56
3.2.1.1.	<i>Pruebas en el vehículo Hilux.</i> .....	57
3.2.1.2.	<i>Pruebas en el vehículo Aveo</i> .....	58
3.2.2.	<i>Comparación de las pastillas de freno en: eficacia de frenado – Tipos de pastillas, análisis ANOVA, LSD y de cajas y bigotes</i> .....	62
3.2.2.1.	<i>Análisis del vehículo Chevrolet Aveo</i> .....	63

<b>3.2.2.2. Análisis del vehículo Toyota Hilux</b> .....	65
<b>CONCLUSIONES</b> .....	68
<b>RECOMENDACIONES</b> .....	69
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	
<b>ANEXOS</b>	

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-1:</b>	Importadores de pastillas de frenos, Cantón Guayaquil .....	13
<b>Tabla 2-1:</b>	Principales marcas importadas de pastillas en cerámicas para frenos en el Ecuador .....	13
<b>Tabla 3-1:</b>	Promedio de volumen perdido de las diferentes pastillas de freno .....	14
<b>Tabla 4-1:</b>	Parámetros de modelado de cada subestructura .....	16
<b>Tabla 5-1:</b>	Características físicas, químicas y mecánicas de los composites de fricción desarrollados.....	22
<b>Tabla 6-1:</b>	Comparación de las distintas soluciones entre palmiste y caña de madera.....	24
<b>Tabla 1-2:</b>	Designación de las nomenclaturas .....	30
<b>Tabla 2-2:</b>	Especificaciones del vehículo Toyota Hylux .....	35
<b>Tabla 3-2:</b>	Especificaciones del vehículo Chevrolet Aveo .....	36
<b>Tabla 4-2:</b>	Resultados posibles a obtener .....	39
<b>Tabla 1-3:</b>	Valores obtenidos del estudio de las pastillas en el vehículo Toyota Hilux .....	43
<b>Tabla 2-3:</b>	Valores obtenidos del estudio de las pastillas en el vehículo Aveo family.....	47
<b>Tabla 3-3:</b>	Resultados fuerzas de frenado Toyota Hilux.....	51
<b>Tabla 4-3:</b>	Resultados fuerzas de frenado Toyota Hilux.....	54
<b>Tabla 5-3:</b>	Fuerza total promedio de frenado.....	57
<b>Tabla 6-3:</b>	Fuerza total promedio de frenado.....	58
<b>Tabla 7-3:</b>	Análisis de tolerancias para las dimensiones de los materiales de fricción .....	60
<b>Tabla 8-3:</b>	ANOVA para Eficacia de frenado (%) por Pastillas (AVEO).....	63
<b>Tabla 9-3:</b>	Método: 95,0 porcentaje LSD (AVEO) .....	64
<b>Tabla 10-3:</b>	ANOVA para Eficacia de frenado por Pastilla de freno (HYLUX) .....	66

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-1:</b>	Tasa de mortalidad en accidentes de tránsito.....	6
<b>Figura 2-1:</b>	Capas de las pastillas de freno.....	8
<b>Figura 3-1:</b>	FME del sistema de frenado.....	16
<b>Figura 1-2:</b>	Etapas del método científico.....	27
<b>Figura 2-2:</b>	Pastillas semimetálicas.....	31
<b>Figura 3-2:</b>	Pastillas de Carbono.....	32
<b>Figura 4-2:</b>	Pastillas de Carbono.....	32
<b>Figura 5-2:</b>	Frenómetro BRAK 3000.....	37
<b>Figura 6-2:</b>	Software de vteq 3000.....	41

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1-1:</b>	Vehículos matriculados por provincia en el año 2017.....	2
<b>Gráfico 2-1:</b>	Análisis estadísticos de la comercialización de pastillas de freno .....	3
<b>Gráfico 3-1:</b>	Composición de las pastillas de freno .....	4
<b>Gráfico 4-1:</b>	Planteamiento del problema.....	5
<b>Gráfico 5-1:</b>	Temperatura de discos ventilados .....	18
<b>Gráfico 6-1:</b>	Temperatura de discos hiperventilados .....	19
<b>Gráfico 7-1:</b>	Temperatura de discos hiperventilados .....	19
<b>Gráfico 8-1:</b>	Desgaste de las pastillas de freno en motocicleta .....	20
<b>Gráfico 9-1:</b>	Convergencia de la carga generada.....	21
<b>Gráfico 10-1:</b>	Variación de la resistencia a la compresión .....	22
<b>Gráfico 11-1:</b>	Coefficiente de fricción a 300°C y 60N .....	23
<b>Gráfico 12-1:</b>	Comparación de coeficiente de fricción.....	25
<b>Gráfico 1-2:</b>	Planteamiento metodológico.....	29
<b>Gráfico 1-2:</b>	Ventas de vehículos desde 2007 hasta 2018 .....	33
<b>Gráfico 2-2:</b>	Ventas anuales de vehículos .....	34
<b>Gráfico 3-2:</b>	Ventas mensuales de vehículos .....	35
<b>Gráfico 1-3:</b>	Fuerza total de frenado vs eficiencia de frenado .....	44
<b>Gráfico 2-3:</b>	Fuerza total de frenado vs eficiencia de frenado (Cerámica).....	45
<b>Gráfico 3-3:</b>	Fuerza total de frenado vs eficiencia de frenado (semi metálicas) .....	46
<b>Gráfico 4-3:</b>	Fuerza total de frenado vs eficiencia de frenado .....	48
<b>Gráfico 5-3:</b>	Fuerza total de frenado vs eficiencia de frenado (Cerámica) .....	49
<b>Gráfico 6-3:</b>	Fuerza total de frenado vs eficiencia de frenado (semi metálicas) .....	50
<b>Gráfico 7-3:</b>	Eficiencia total de frenado en el Toyota Hilux.....	51
<b>Gráfico 8-3:</b>	Fuerza de Frenado del lado izquierdo y derecho .....	52
<b>Gráfico 9-3:</b>	Eficiencia total de frenado en el Aveo Family .....	53
<b>Gráfico 10-3:</b>	Fuerza de Frenado del lado izquierdo y derecho .....	55
<b>Gráfico 11-3:</b>	Diagrama de dispersión de los datos fuerza total de frenado.....	56
<b>Gráfico 12-3:</b>	Comparación de promedios de la fuerza total de frenado .....	58
<b>Gráfico 13-3:</b>	Comparación de promedios de la fuerza total de frenado .....	59
<b>Gráfico 14-3:</b>	Comparación de las fuerzas de frenado en las pastillas de carbono, cerámica y semimetálica.....	61
<b>Gráfico 15-3:</b>	Comparación de la eficacia de frenado en las pastillas de freno: carbono, cerámica y semimetálica.....	62
<b>Gráfico 16-3:</b>	Análisis gráfico de ANOVA eficiencia de frenado (AVEO).....	63

<b>Gráfico 17-3:</b>	Análisis de gráfico LSD (AVEO) .....	64
<b>Gráfico 18-3:</b>	Análisis de gráfico de cajas y bigotes (AVEO).....	65
<b>Gráfico 19-3:</b>	Análisis gráfico de ANOVA(HYLUX).....	66
<b>Gráfico 20-3:</b>	Análisis de gráfico LSD (HYLUX) .....	67
<b>Gráfico 21-3:</b>	Análisis de gráfico de cajas y bigotes (HYLUX).....	67

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

**ANEXO A:** PRUEBAS EN VEHÍCULO HILUX CON PASTILLAS DE CARBONO

**ANEXO B:** PRUEBAS EN VEHÍCULO HILUX CON PASTILLAS DE CERÁMICA

**ANEXO C:** PRUEBAS EN VEHÍCULO HILUX CON PASTILLAS SEMI METÁLICAS

**ANEXO D:** PRUEBAS EN VEHÍCULO AVEO FAMILY CON PASTILLAS DE CARBONO

**ANEXO E:** PRUEBAS EN VEHÍCULO AVEO FAMILY CON PASTILLAS DE CERÁMICA

**ANEXO F:** PRUEBAS EN VEHÍCULO AVEO FAMILY CON PASTILLAS SEMIMETÁLICAS



## RESUMEN

El presente trabajo tuvo como objetivo realizar un análisis comparativo de la incidencia de materiales de las pastillas de freno en el frenado de un vehículo. Se utilizó una investigación documental para el conocimiento de los diferentes tipos de pastillas, sus características y composición química. Así también, se empleó una investigación experimental estableciendo como variables independientes el tipo de pastilla de freno; cerámica, de carbono y semimetálicas, y como variable dependiente, la eficiencia de frenado. El enfoque cuantitativo a través del uso de un frenómetro VTEQ300 permitió la medición de los distintos parámetros que evalúan la calidad de frenado, posteriormente, el análisis y procesamiento de los datos recolectados. El estudio seleccionó dos tipos de vehículos, Toyota Hilux y Aveo Family; y, tomó cuatro mediciones por cada uno de los tipos de pastillas de freno. Los parámetros que se consideraron para establecer la eficiencia de frenado son: peso del vehículo, eficacia de los ejes y desequilibrio de los ejes. Las valoraciones se realizaron en función de la Norma NTE-INEN 2349-2003, que indica los procedimientos de revisión vehicular, entre ellos las especificaciones del banco de pruebas para frenos. Los valores de eficiencia de frenado para el vehículo Toyota Hilux son de 67%, usando pastillas de carbono; 77% con pastillas de cerámica y 62% con pastillas semimetálicas; mientras que, el vehículo Aveo Family obtuvo un 79% de eficiencia al usar pastillas de carbono, 81% con pastillas de cerámica y 75% utilizando pastillas semimetálicas. Se concluye que, para el primer vehículo la diferencia es estadísticamente significativa en el tipo de pastillas de freno y su eficiencia, para el segundo vehículo la diferencia no es significativa. Se recomienda, principalmente a propietarios de vehículos Toyota Hilux la adquisición de pastillas de freno de cerámica dado su mayor eficiencia y la reducción del ruido al frenar.

**Palabras clave:** <PASTILLAS DE FRENO>, <CARBONO>, <CERÁMICA>, <SEMIMETÁLICAS>, <EFICIENCIA DE FRENADO>, <INEN 2349:2003>, <FRENÓMETRO>, <TOYOTA HILUX>, <AVEO FAMILY>.



## SUMMARY

The objective of this work was to carry out a comparative analysis of the incidence of brake pad materials in the braking of a vehicle. Documentary research was used to learn about the different types of pads, their characteristics and chemical composition. Likewise, an experimental investigation was used, establishing the type of brake pad as independent variables; ceramic, carbon and semi-metallic, and as a dependent variable, braking efficiency. The quantitative approach with a VTEQ300 brake tester allowed the measurement of the different parameters that evaluate the braking quality, subsequently, the analysis and processing of the collected data. The study selected two types of vehicles, Toyota Hilux and Aveo Family; and, took four measurements for each of the types of brake pads. The parameters that were considered to establish the braking efficiency are: vehicle weight, axle efficiency and axle imbalance. The evaluations were carried out based on the NTE-INEN 2349-2003 Standard, which indicates the vehicular inspection procedures, including the specifications of the brake test bench. The braking efficiency values for the Toyota Hilux vehicle are 67%, using carbon pads; 77% with ceramic pads and 62% with semi-metallic pads; while the Aveo Family vehicle obtained 79% efficiency when using carbon pads, 81% with ceramic pads and 75% using semi-metallic pads. It is concluded that, for the first vehicle, the difference is statistically significant in the type of brake pads and their efficiency, for the second vehicle the difference is not significant. It is recommended, mainly to owners of Toyota Hilux vehicles, to acquire ceramic brake pads given their greater efficiency and the reduction of noise when braking.

**Keywords:** <BRAKE PADS> <BRAKING EFFICIENCY> <BRAKE METER> <TEST BENCH>.



Lic. Francisco Mantilla Mgs.  
0603747809

## **INTRODUCCIÓN**

El sistema de frenos es de vital importancia en la seguridad del activa del vehículo, un estudio de la incidencia de los materiales de las pastillas de frenos dará una idea clara de que materiales son los más eficientes al momento de frenar el vehículo, ya que depende de gran medida de la condición operativa que se realice a los frenos.

En varios estudios de los sistemas de frenado, siempre existe una innovación para este tipo de sistema, ya que es el sistema de seguridad que salvaguarda la vida del conductor y los ocupantes, por tal razón un análisis comparativo de los materiales utilizados en la fabricación de las pastillas de freno ayuda a determinar que material brinda una mayor eficiencia de frenado, así como también evidencia que es mejor para el correcto funcionamiento de nuestro vehículo.

Uno de los puntos importantes para el análisis de eficiencia de frenado es para conocer los posibles factores causantes de las pérdidas humanas y materiales en los accidentes de tránsito, también se determina si los materiales y tipo de pastilla usadas fueron de los establecidos en el reglamento.

Lo ideal de un material de fricción es mantener constante el coeficiente durante todo el tiempo de trabajo y con todas las variables que influyen sobre las pastillas, como temperatura, desgaste, etc.

Lo complicado es mantener estable este valor debido a los cambios en el material (Gutiérrez & Vinuesa, 2018, p. 188).

Cabe recalcar que el estudio se realiza en base a los materiales de fabricación de las pastillas, y debido a la gran afluencia de ellas se realizó el estudio en tres tipos de pastillas las cuales son: semimetálicas, cerámicas y de carbono, para lo cual se realizó un total de 27 pruebas en el frenómetro en donde se determinó cual es más favorable en la eficiencia de frenado.

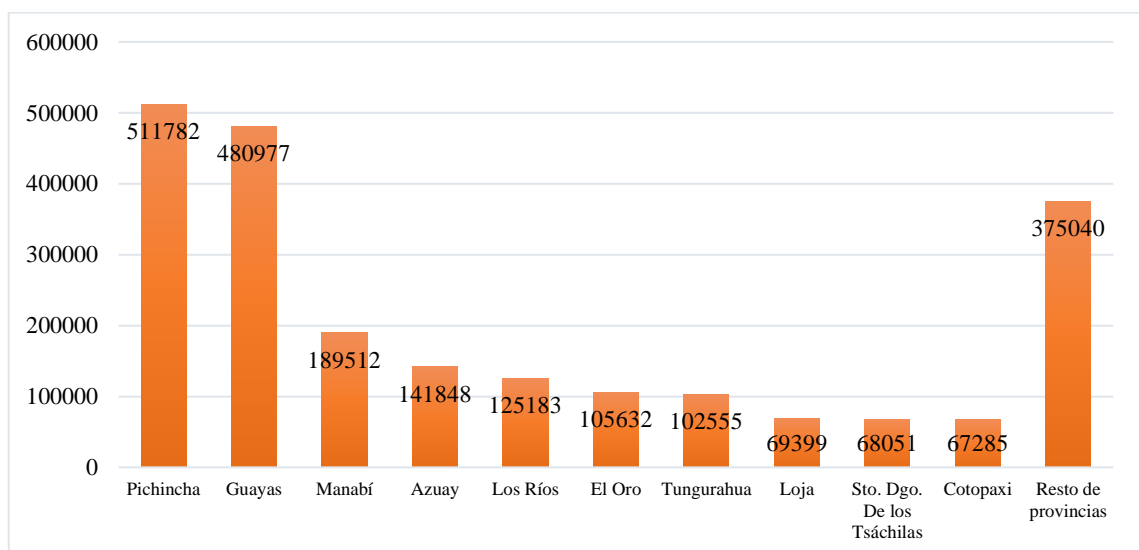
# CAPÍTULO 1

## 1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

### 1.1. Justificación

Conforme con la resolución No. 16 382 concerniente a la SUBSECRETARIA DEL SISTEMA DE LA CALIDAD DE LA PRODUCTIVIDAD se aprueba y autoriza con el carácter de Obligatorio la cuarta revisión del REGLAMENTO TÉCNICO ECUATORIANO RTE INEN 034(4R) “ELEMENTOS MÍNIMOS DE SEGURIDAD EN VEHÍCULOS AUTOMOTORES”, este reglamento técnico tiene como finalidad implantar los requerimientos mínimos referentes a la seguridad que deben satisfacer los vehículos automotores que circulen en el territorio ecuatoriano; de acuerdo al punto 4 requisitos del producto menciona en su artículo 4.3 “frenos” . Los vehículos automotores de cuatro ruedas deben disponer de frenos ABS, conforme con lo que establezca la Reglamentación Técnica No. 13-H de la ONU, aplicada a los vehículos que la regulación indica (Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN), 2016, p. 5).

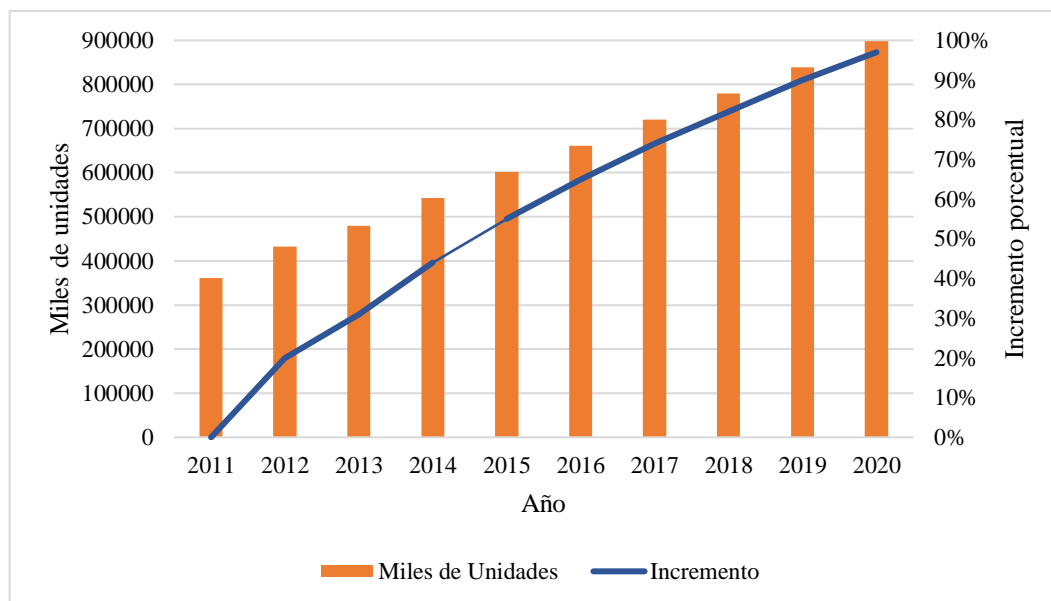
En Ecuador cada 1 de 5 personas posee vehículo propio, es así como según la Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador (AEADE) en el año 2019 el parque automotor a nivel nacional posee una cifra de 2 259 104 en lo que corresponde a vehículos livianos entre ellos automóviles, SUV y camionetas. En el año 2017 se registró el 22.9% de vehículos matriculados a nivel nacional en la provincia de Pichincha (gráfica 1). Según el anuario de estadísticas de transporte 2017 revela una tasa promedio de 63 vehículos por cada 1000 personas en Ecuador, sin embargo en Quito la capital de Pichincha se promedió 174 vehículos por cada 1000 habitantes (Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2017, p. 10).



**Gráfico 1-1:** Vehículos matriculados por provincia en el año 2017

Fuente: INEC, 2017, p. 10.

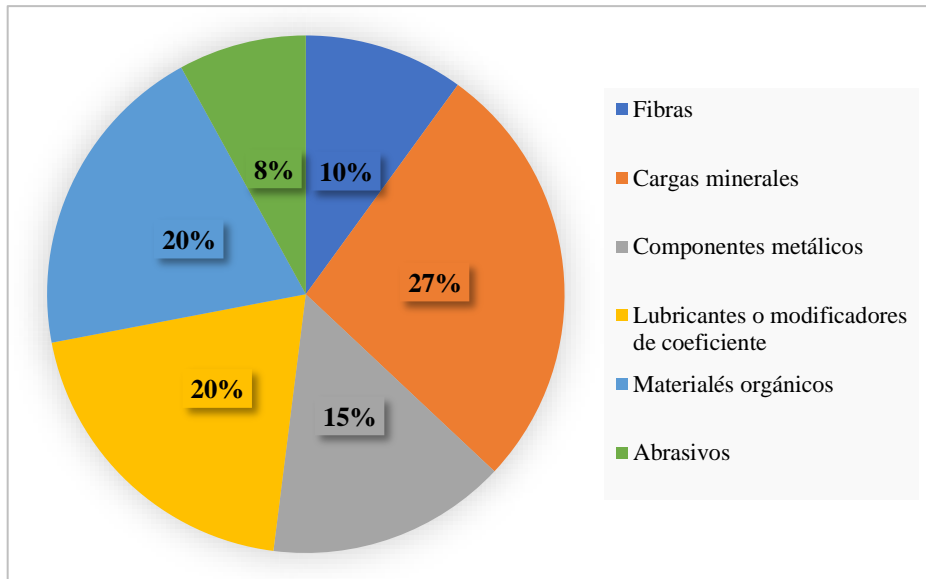
Al conocer cuáles son los mejores tipos de materiales para las pastillas de freno, se puede reducir los fallos por desgaste, capaz de generar accidentes de tránsito, siendo una causa de muerte, aportando a los índices de mortalidad a nivel nacional. El análisis del siguiente estudio tiene la finalidad de determinar la incidencia de los materiales de las pastillas en la eficiencia del frenado de un vehículo. Es necesario precisar la influencia de los materiales de construcción de las diferentes pastillas de freno en la eficiencia del frenado, esto permite tener en cuenta que factores son predominantes para el desgaste de las pastillas, así como también para la eficiencia del frenado.



**Gráfico 2-1:** Análisis estadísticos de la comercialización de pastillas de freno

Fuente: Previo y Mena, 2021.

La investigación permitió evidenciar mediante las pruebas realizadas en el banco frenómetro las ventajas que presentan la utilización de pastillas con distintos tipos de materiales como: semimetálicos, cerámicos y de carbono, al momento del frenado del vehículo automotor. Actualmente los fabricantes de zapatas están ligados a satisfacer los requerimientos que deben cumplir las pastillas, por ende, cada fabricante implementa sus propias formulaciones y las ensayan una y otra vez hasta lograr la calidad buscada. Por esa razón es de gran importancia saber qué tipo de materiales de pastillas son los más eficientes para reducir los accidentes de tránsito. Los usuarios de los vehículos al momento de elegir deben fijarse en las características del tipo de material de sus repuestos de pastilla y también en las especificaciones del vehículo como: velocidad máxima, peso y sistema de tracción para evitar que el sistema de frenos en ocasiones se sobrecaliente o simplemente no funcione de la forma correcta provocando que el vehículo sobrepase su límite de eficiencia de carga y frenado.

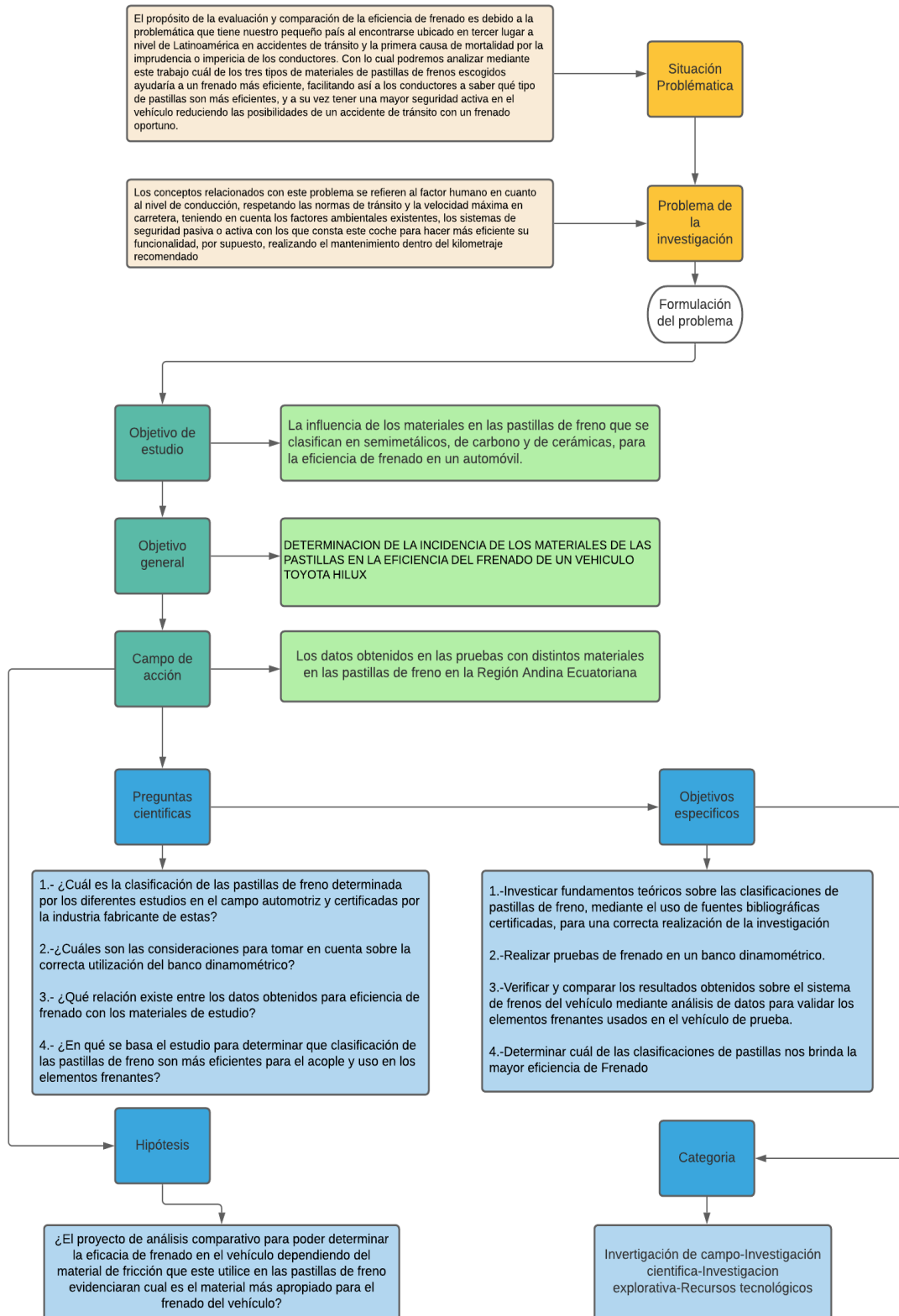


**Gráfico 3-1:** Composición de las pastillas de freno

Realizado por: Velastegui Carrillo, 2015.

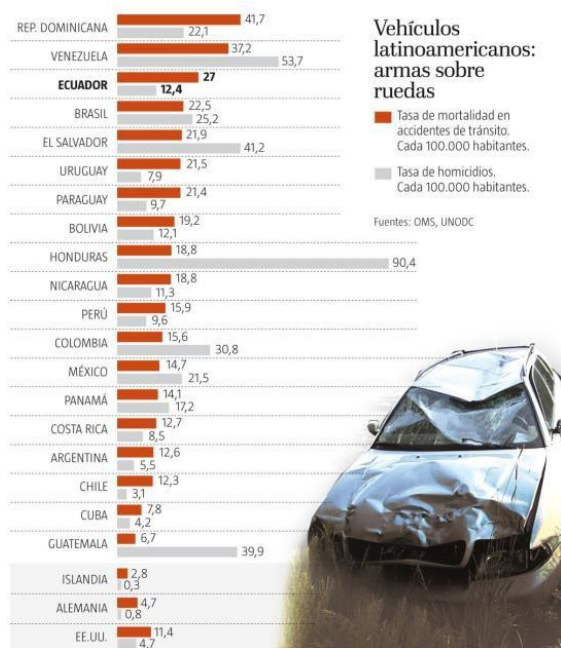
El sistema de frenado se encuentra en constante evolución, pasando de tambores a discos de frenos con el uso de pastillas, lo cual, otorga una mayor eficiencia de frenado, actualmente se han incorporado sistemas de seguridad como el ABS al mecanismo de frenado en las 4 ruedas. Además en la actualidad para reducir el desgaste ocasionado por el aumento de temperatura de los componentes se utilizan disco de freno con ranuras de ventilación que disminuyen el incremento de temperatura al momento de frenar los vehículos (García, et al., 2019, p. 385).

## 1.2. Planteamiento del problema



**Gráfico 4-1: Planteamiento del problema**

Realizado por: Arteaga & Heredia, 2022.



**Figura 1-1:** Tasa de mortalidad en accidentes de tránsito

Fuente: El Telégrafo, 2021.

El propósito de la evaluación y comparación de la eficiencia de frenado es debido a la problemática que tiene el Ecuador al encontrarse ubicado en tercer lugar a nivel de Latinoamérica en accidentes de tránsito y la primera causa de mortalidad por la imprudencia o impericia de los conductores (El Telégrafo, 2014, p. 1). En esta investigación se analizará cuál de los tres tipos de materiales de pastillas de frenos otorgan un frenado más eficiente, facilitando así a los conductores a saber qué tipo de pastillas son mejores para su vehículo ya que le brindan una mayor seguridad activa y reducen las posibilidades de un accidente de tránsito por causas de frenado inadecuado. Los conceptos relacionados con este problema se refieren al factor humano en cuanto al nivel de conducción, respetando las normas de tránsito y la velocidad máxima en carretera, teniendo en cuenta los factores ambientales existentes, los sistemas de seguridad pasiva o activa con los que consta este coche para hacer más eficiente su funcionalidad, por supuesto, realizando el mantenimiento dentro del kilometraje especificado (Molina, 2015, p. 39).

Los factores técnicos que implican este problema son el uso adecuado de los recursos operativos y los repuestos originales o de buena calidad, en este caso, utilizar los repuestos homologados OEM (Original Equipment Manufacturer – Fabricante de equipos originales), que son empresas que producen bajo los mismos parámetros del fabricante. El material de los ferodos o material de fricción utilizado en las pastillas debe tener un cierto grado de incidencia en cuanto a la potencia de frenado que proporciona a la parte trasera del vehículo, las pastillas de freno también tienen dependencia de su punto de vista en el disco de freno, según la posición en el disco de freno se asegura un buen rendimiento de frenado y detener el vehículo progresivamente o a tiempo (SEGURMANIA, 2019, p. 1). Otro contribuyente importante en estos tipos de vehículos es el líquido



de frenos, ya que dependiendo de la tecnología o sistema de frenos que utilice, el líquido de frenos a utilizar puede variar desde un DOT3, DOT4, DOT5.1. Para cada marca, esta designación es importante para sus parámetros de funcionamiento.

### **1.3. Objetivos**

#### ***1.3.1. Objetivo General***

Analizar de forma comparativa los tres tipos de materiales que se utilizan en las pastillas de freno para establecer el porcentaje de eficiencia del frenado en un vehículo.

#### ***1.3.2. Objetivos específicos***

- Revisar información bibliográfica de las pastillas de freno.
- Realizar las pruebas de frenado en un banco frenómetro con los tres tipos de materiales que se utilizan en la fabricación de pastillas de freno.
- Analizar los resultados obtenidos en el banco frenómetro a las pruebas realizadas.
- Determinar mediante tablas comparativas cuál de los materiales brinda una mayor eficiencia de frenado.

### **1.4. Hipótesis**

¿El proyecto de investigación permitirá evidenciar la eficacia de frenado del vehículo dependiendo del material de fricción que este utilice en las pastillas de freno?

### **1.5. Estado del Arte**

En la industria automotriz es importante la investigación en los sistemas del vehículo, ya que es una industria que genera ingresos comerciales y ayuda al avance de nuevas tecnologías. Las investigaciones de los sistemas de freno son diversos y distintivo debido a los factores ambientales y mecánicos del lugar de la investigación, el presente estudio ayudara al área automotriz para tener conocimiento acerca de que marca de fabricante es más eficiente para su automóvil.

#### ***1.5.1. Introducción a las pastillas de freno***

Las patillas de frenos son indispensables en el sistema de freno ya que mediante la fricción que genera con los discos logra detener la marcha del vehículo, las pastillas de freno generalmente no

se dañan, su deceso es causado por el desgaste creado por la fricción que ocurre durante el frenado, por lo cual se requiere un mantenimiento periódico. Para evitar el deterioro prematuro de las pastillas de freno, es recomendable asegurarse de que los discos de freno no estén deformados. Según (Borawski, 2020, p. 374), las pastillas de freno tienen capas específicas, la más importante de las cuales es la capa de fricción, capa que frenamos durante el funcionamiento normal de la pastilla de freno. Suele tener un grosor de 6 a 9 mm. Su composición difiere significativamente y se ajusta a propósitos específicos. Debajo del material de fricción se encuentra la denominada capa inferior. Tiene un grosor de 1-4 mm y actúa como adhesivo que sujeta el material de fricción.



**Figura 2-1:** Capas de las pastillas de freno

Fuente: Borawski, 2020.

### ***1.5.2. Características de los materiales de fricción***

Según (Marín et al., 2019, p. 202969), Las mezclas de polímeros son la opción preferida para los materiales de las pastillas de freno porque ofrecen un buen equilibrio entre costo y rendimiento. El material de fricción en los sistemas de frenos debe diseñarse para calificar estrictas normas de calidad tales como: alta y estable coeficiente de fricción, bajo desvanecimiento, mejor recuperación y bajo desgaste en una amplia gama de condiciones de funcionamiento. La fricción, los materiales normalmente contienen múltiples ingredientes en diferente composición, y se clasifican en fibras, cargas, aglutinantes y modificadores de propiedad. Hay mucha literatura disponible generalizado citando el papel de diferentes fibras, rellenos, aglutinantes, modificadores de propiedades, nano relleno y enfoques de toma de decisiones para el desarrollo de material de la almohadilla de fricción (Singha y Patnaikb, 2015, pp. 151-152).

Entre las características se encuentran:

- Resistencia a la fricción.
- Soporta altas temperaturas.
- Son adherentes.

### ***1.5.3. Componentes de las pastillas de freno***

Según (Kumar & Kumar-Ghosh, 2020, p. 1213), las propiedades del componente 10 de la pastilla de freno son las siguientes:

- Fibra de refuerzo: Como latón, cobre, acero, fibra de aramida, fibra de carbono y fibra de vidrio, se utilizan para proporcionar resistencia mecánica y estabilidad a la pastilla de freno.
- Carpeta: Una carpeta contiene los ingredientes de la pastilla de freno, proporcionando fuerza de unión. Debería tener buena temperatura mala estabilidad. La resina fenólica se utiliza generalmente con adición de miga de caucho para mejorar la amortiguación propiedades.
- Abrasivo: Se utiliza para controlar las propiedades de fricción. y garantizar la estabilidad durante la condición de frenado. Algunos ejemplos de abrasivos son el zircón ( $ZrSiO_4$ )
- Lubricantes: Lubricantes sólidos (como grafito) se utilizan para estabilizar el coeficiente de fricción a elevadas temperaturas de contacto.
- Rellenos: Estos se utilizan para reducir el costo y mejorar la capacidad de fabricación. Algunos ejemplos de rellenos son barita ( $BaSO_4$ ), vermiculita, silicatos minerales.

### ***1.5.4. Formulación de los materiales de fricción de las pastillas***

La clasificación del material de fricción se remonta a 100 años atrás, evolucionando desde las pastillas de freno de base de amianto hasta las formulaciones actuales sin cobre. Esta clasificación es difícil porque la mayoría de los materiales de la formulación son los mismos. Toda la nueva formulación evolucionó debido a la emisión de partículas tóxicas de amianto en el aire (Kumar et al., 2020, p. 4300).

#### ***1.5.4.1. Formulación de pastillas semimetálicas***

Según (Matějka et al., 2011, p. 1865), en primer lugar, la formulación semimetálica apareció en 1939 como sustituto del amianto. Formulación semimetálica es una formulación de material de fricción aglomerado con resina que puede estar compuesta por un 30-35% en peso o más del 50 % en peso de fibras de acero fibras de acero y otros metales ferrosos. La formulación semimetálica convencional tiene un polvo de hierro de más del 50% en la matriz. Mientras que, en la formulación moderna del material de fricción semimetálico, se utiliza fibra de lana de acero con polvo de hierro. Este tipo de material de fricción vale para los coches que circulan por la calle. No se desvanecen fácilmente como las pastillas orgánicas, ya que la presencia de la fibra de acero

aumenta el coeficiente de fricción, pero se desvanece durante el descenso de la colina y en el descenso de pendientes y en el funcionamiento a alta velocidad en carreteras planas.

#### *1.5.4.2. Formulación de pastillas bajas en metal*

La formulación de material de fricción de frenos de bajo metal y bajo acero no tiene diferencias significativas ya que la cantidad de fibra de acero y el contenido de metal sólo varía. En la formulación de las pastillas de freno de bajo contenido metálico, el porcentaje en peso de la resina suele ser entre un 1% y un 4% mayor que en la formulación semimetálica. Están pensadas para aumentar el confort. Tienen un coeficiente de fricción del orden de 0,35-0,38, mientras que las semimetálicas tienen 0,4.

Las fórmulas de bajo contenido en acero se utilizan en los ejes delanteros, donde la mayor carga actúa durante el frenado. Los abrasivos utilizados en este tipo de formulación suelen ser menores en comparación con la fórmula de bajo metal. A diferencia de la fórmula semimetálica, aquí también se mezclan o pre mezclan algunos materiales con lubricantes y caucho para que actúen como sistema de amortiguación (Abutu et al., 2020, p. 45).

#### *1.5.4.3. Formulación de pastillas cerámicas*

Según (Akıncioğlu et al., 2020, p. 1062), la formulación de matriz cerámica es la inclusión de varios materiales cerámicos para lograr un gran número de funciones. No se desvanecen rápidamente como la formulación semimetálica. De hecho, la fibra de acero no tiene cabida en este tipo de formulación. Ofrecen un coeficiente de fricción estable en amplios niveles de temperatura.

El diseño de los materiales es bastante complejo ya que son muchos los materiales que intervienen en el control del ruido asociado a ellos. Las pastillas de freno de cerámica vendidas por un fabricante de equipos originales (OEM) o un proveedor de pastillas de freno del mercado de accesorios no deben confundirse con material de fricción genuino de los frenos de cerámica que pueden soportar temperaturas superiores a los 1000 °C, proporcionando una excelente estabilidad térmica a la pastilla de freno. La formulación cerámica consiste en un refuerzo cerámico como fibras de silicato de Ca-Mg, fibras de Rockwool fibra de basalto, y varios óxidos metálicos típicos, etc.

#### *1.5.4.4. Formulación de pastillas de carbono*

El concepto de carbonización se utiliza para formar carbono en la superficie de la fibra. La fibra carbonizada se añade entonces a la matriz o los rendimientos carbonizados se pulverizan y se añaden al material de fricción y se moldean a la dimensión requerida. Se utilizan en trenes de alta

velocidad, carros de combate, aviones y coches de carreras, ya que ofrecen una extrema estabilidad térmica de hasta 1500 °C y cuando la demanda de prestaciones de frenado es mayor que su coste de fabricación. Tienen varias ventajas, como un mayor rendimiento, 2,5 veces superior al del acero, mayor resistencia a elevadas temperatura, un 40% menos de peso, el doble de vida útil (Blythe, 2009, p. 286).

#### *1.5.4.5. El cobre en las pastillas de freno*

Desde 1913, el cobre se ha utilizado en la mayoría de las formulaciones de bloques de freno, tanto en forma de escamas como de polvo. Las características fundamentales que posee el polvo de cobre han hecho que sea un candidato ideal para conformar la matriz en los materiales de fricción sintetizados. En cuanto a los materiales de fricción orgánicos, el polvo de cobre se emplea como aditivo para mejorar entre otras, las propiedades de conductividad térmica o de lubricación a elevadas temperaturas. El uso de las fibras de cobre como fibras de refuerzo aumento considerablemente con la llegada de las formulaciones orgánicas no-metálicas(NAO) (Martínez, 2015, pp. 30-33).

#### **1.5.5. Rendimiento de fricción**

El aumento de coeficiente de fricción ( $\mu$ ) se produce cuando existe contacto entre los materiales de las pastillas de freno, debido a las fuerzas ejercidas por el sistema de frenado versus la velocidad de rotación a la que se encuentra el neumático. Los materiales de fabricación de la pastilla empezaran a elevar su nivel de temperatura y la fricción causara desprendimientos por desgaste. Como consecuencia del desgaste de la pastilla el coeficiente de fricción ( $\mu$ ) comienza a disminuir.

Según (Grkić et al., 2015, p. 393), la temperatura alcanzada en la superficie de contacto del disco y la pastilla de un freno de fricción durante su funcionamiento tiene un impacto significativo en el rendimiento del freno. Además, este comportamiento se repite con la superficie de fricción recién formada, esto genera una situación inestable e indeseable en el sistema de frenos. Estos especímenes incluyen 7.5% y 10% WTD y el  $\mu$  se reducen de 0,47 a 0,40 en poco tiempo. Un rápido aumento o disminución de  $\mu$  ha dado lugar a un rápido aumento en la temperatura de la superficie de fricción. Por otro lado, el  $\mu$  para las muestras WTD1, WTD4 y WTD5 aumenta (Mutlu et al., 2015, p. 445).

Según (Kumar et al., 2020, p. 4301). Los materiales de fricción sinterizados a base de cobre son los más adecuados para vehículos todoterreno de servicio pesado, trenes, aviones y aplicaciones militares. Se probó el rendimiento de frenado de emergencia continuo de las pastillas de freno a base de cobre aleadas con diferentes contenidos de Ni. Los resultados mostraron que la pastilla de freno

a base de cobre con alto contenido de Ni exhibe una estabilidad mejorada del coeficiente de fricción durante todo el proceso de frenado de emergencia, lo que indica que el Ni ayuda a reducir la sensibilidad de la pastilla de freno al cambio de condiciones de frenado (Zhang et al., 2020, p. 1).

#### ***1.5.6. Mantenimiento de las pastillas de frenos***

Las pastillas y discos deben mantenerse en perfecto estado para que los frenos funcionen correctamente. Para no afectar la correcta función del sistema de frenos se deben sustituir las pastillas y discos cuando alcancen un determinado límite de desgaste. Según (Álvarez & Narváez, 2020, p. 155), una revisión recomendada de los frenos es cada 20 000 a 35 000 kilómetros, si el vehículo presenta algunos inconvenientes se lo puede revisar antes.

Las maneras para saber que existe desgaste en el disco como en las pastillas son las siguientes:

- a) Testigo del freno encendido en el tablero.
- b) Presencia de ruidos cuando realiza la acción de frenado.
- c) Existencia de vibraciones.
- d) Se observa señales de sobrecalentamiento.
- e) Grietas en el disco.
- f) Poco material del forro de las pastillas.

La calidad y tipo de material de disco en su fabricación es de suma importancia al momento de un frenado eficaz y seguro ya que su mala calidad puede provocar deterioros tempranos de las pastillas. También es recomendable sustituir a tiempo los componentes de freno desgastados porque pueden provocar mayor desgaste a los otros componentes del sistema. Conforme (Bravo, 2017, p. 58), cuando sea necesario reemplazar o rectificar los discos de freno también se deben sustituir las pastillas; por el contrario, al cambiar las pastillas de frenos no es necesario suplantar el disco si este se encuentra en buen estado.

Las pastillas de freno son piezas que generalmente no sufren averías como tal, sino que son propensas al desgaste y necesitarán de un mantenimiento que se basa en su cambio frecuente. Si se circula con un auto que tiene las pastillas de frenado bastante gastadas, se le restará eficacia a todo el sistema de frenado. El cambio de pastillas no se mide por tiempo, sino por kilómetros recorridos. Las pastillas de freno se deben empezar a controlar a los 30.000 km y pueden durar desde eso, hasta 100.000 km.

#### ***1.5.7. Estudio de mercado***

En este aspecto es necesario determinar si existe una demanda insatisfecha (oferta y demanda), cuantificando su volumen y expectativa de como cambiarán los servicios en cuestión a lo largo

del tiempo y cuáles son sus características. El estudio de mercado tiene el objetivo de establecer la existencia de la demanda del producto en el mercado y sirve para evidenciar la necesidad en la población del producto, la misma que será satisfecha por la fabricación de este. El estudio de mercado está formado por la demanda, la oferta, precio del mercado y distribución (Revilla y Rodríguez, 2017, p. 26).

#### 1.5.7.1. Identificación del producto que hay en el mercado

En el mercado de elementos de fricción automotriz en Ecuador en especial en la ciudad de Guayaquil se encuentra las importadoras más grandes a nivel nacional de productos de fricción para frenos en los diferentes materiales descritos: semimetálicos, cerámicos y de carbono; Estas presentaciones se encuentran ya sea para vehículos livianos, medianos, pesados y extrapesados, se ubican en la lista los principales importadores.

**Tabla 1-1:** Importadores de pastillas de frenos, Cantón Guayaquil

Infamotor	Guayaquil
Importadora Alvarado Vásconez Cía.. Ltda.	Guayaquil
Productos Metalúrgicos S.A. promesa	Guayaquil
Servirepuestos S.A.	Guayaquil
Autosharecorp S.A.	Guayaquil
Meautomotriz	Guayaquil
automotores y anexos S.A. Ayasa	Guayaquil

**Nota:** Información tomada del servicio nacional de aduanas del Ecuador (SENAE)

**Fuente :** Molina, 2018.

**Tabla 2-1:** Principales marcas importadas de pastillas en cerámicas para frenos en el Ecuador

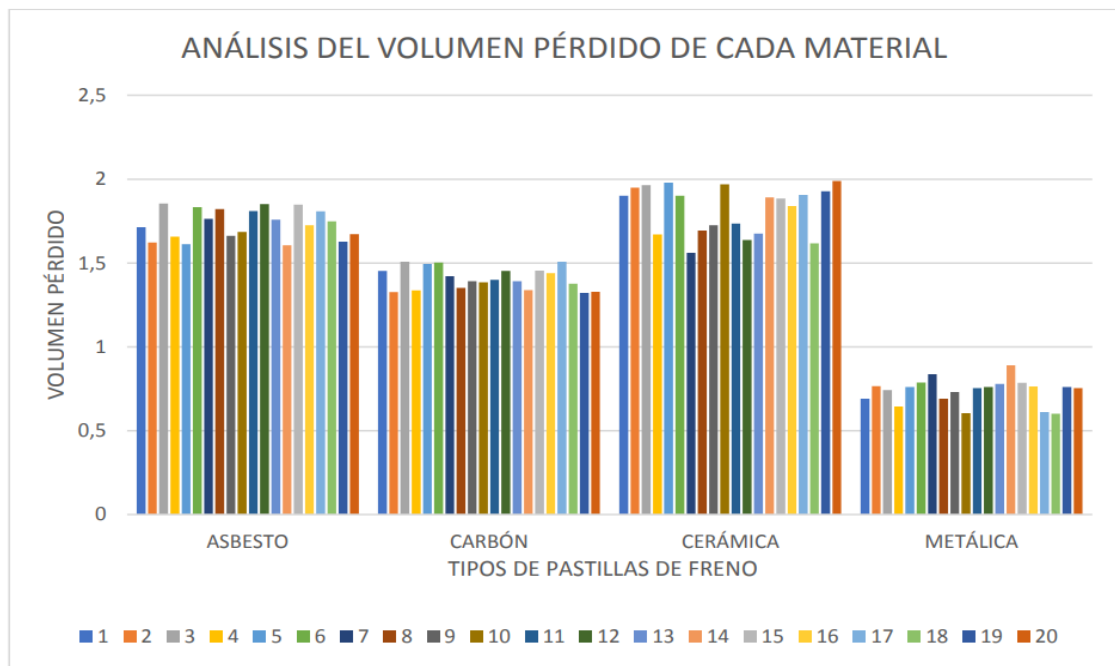
Marca de pastillas de freno	Origen	Resistencia a la fricción	Composición En cerámica%	Temperatura
INFRISA	Colombia	15 u-20 u	86%	850° C-1500° C
ROTEX	Alemania	15 u-20 u	95%	850° C-1500° C
ITALBRAKE	Chile	15 u-20 u	92%	850° C-1500° C
KASHIMA	China	15 u-20 u	84%	850° C-1500° C
SAFE PADS	China	15 u-20 u	82%	850° C-1500° C
SANGSIN	Japón	15 u-20 u	85%	850° C-1500° C
SLYN	China	15 u-20 u	90%	850° C-1500° C
BOSH	Alemania	15 u-20 u	95%	850° C-1500° C
ROTPOWER	Colombia	15 u-20 u	91%	850° C-1500° C
REMSA	Brasil	15 u-20 u	94%	850° C-1500° C

**Nota:** Información tomada del Servicio Nacional de Aduanas del Ecuador (SENAE)

**Fuente :** Molina, 2018.

### 1.5.8. Volumen de pérdida de cada material de pastillas

Dado los estudios sobre los valores obtenidos de pérdida de volumen de cada tipo de pastilla de freno se pudo realizar la gráfica 4 para tener una mejor apreciación sobre el desgaste sufrido por cada material usado en la fabricación de pastillas. Se puede analizar que la mayor pérdida de volumen se da en las pastillas metálicas, es decir que tiene una menor vida útil que las demás también se observa que las pastillas cerámicas son las que tienen mayor vida útil, pero con una diferencia mínima a las pastillas de asbesto.



**Gráfico 4-1.** Análisis en barras del volumen perdido de cada material expresado en cm<sup>3</sup>

Fuente: Álvarez & Narváez , 2020.

Para una mejor apreciación se representará el desgaste en porcentaje, relacionando la masa inicial de la probeta con la masa fina de la probeta y teniendo el resultado de la masa y el volumen perdidos como se indica en la tabla a continuación, también se necesitó calcular el volumen promedio inicial y el volumen promedio final de cada probeta.

**Tabla 3-1:** Promedio de volumen perdido de las diferentes pastillas de freno

Pastillas	Promedio volumen inicial	Promedio volumen final	Promedio volumen perdido
Asbesto	20.625	18.916	1.709
Carbón	24.385	22.976	1.409
Cerámicas	17.529	15.679	1.85
Metálicas	16.875	16.177	0.7

Fuente: Álvarez & Narváez , 2020.



### ***1.5.9. Impacto Ambiental***

Los impactos ambientales de las pastillas de freno vírgenes y recicladas se evalúan en términos de huella de CO<sub>2</sub> y consumo de energía para todo el ciclo de vida que consta de varias etapas, es decir, material, fabricación, transporte, uso y eliminación. La etapa de fabricación se simplifica, en la que algunos procedimientos de mecanizado comunes para las almohadillas vírgenes y recicladas son idénticos. El relleno sanitario se selecciona como método para la eliminación de las pastillas de freno vírgenes y recicladas reemplazadas (Lyu et al., 2020, p. 2-5).

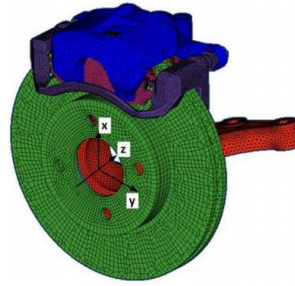
Según (Pathmanaban, 2019, p. 853), “las pastillas de freno se pueden fabricar utilizando algunas fibras naturales como la cáscara de coco como material de refuerzo, junto con el grafito que puede actuar como mejor material de fricción, el alúmina como material abrasivo y la resina epoxi como aglutinante. Esto hará que las pastillas de freno funcionen bien con un alto coeficiente de fricción.”

“El trisulfuro de antimonio (Sb<sub>2</sub>S<sub>3</sub>) se utiliza como lubricante en material de fricción. El análisis de difracción de rayos X reveló Sb en 3/3 pastillas de freno de disco (rango 41,000-46,000 mg / kg) y en muestras de polvo de freno de disco 2/2 (21,000 y 17,000 mg / kg) de camiones. Se encontraron concentraciones considerablemente más bajas en las pastillas de freno de tambor (3/5, 59-6400 mg / kg) y en el polvo de freno de tambor (4/18, 78-2800 mg / kg) de sulfuro de antimonio”.

Según (Ikpambese et al., 2016, p. 112), “las fibras de palmiste se pueden utilizar eficazmente como reemplazo del amianto en la producción de pastillas de freno y las tasas de absorción de aceite y agua se mantuvieron constantes con el aumento de la velocidad. La emisión de frenos sin escape es una de las cuestiones importantes que preocupan a la salud y el medio ambiente. Durante el funcionamiento de los frenos, los restos de desgaste se liberan a la atmósfera y contaminan el medio ambiente” (Jadhav & Sawant, 2019, p. 212).

### ***1.5.10. Modelo de elementos finitos***

Se establece el modelo de elementos finitos del sistema de frenado de disco, como se muestra en la figura 3. En el modelo de elementos finitos (FME) se aplican las coordenadas cartesianas uniformes a la derecha, el origen del sistema de coordenadas se fija en el centro del rotor del disco; el eje x parte del origen de coordenadas y apunta verticalmente hasta el eje central del cilindro de freno; la dirección positiva del eje z apunta horizontalmente apunta al soporte, que coincide con el eje del rotor del disco; el eje y se define mediante la regla de la mano derecha. Las coordenadas anteriores son las coordenadas globales (Gao et al., 2021, 101189).








**Figura 3-1:** FME del sistema de frenado

Fuente: Gao et al., 2021.

El modelo de acoplamiento en bucle cerrado es un modelo de síntesis modal del sistema de frenado, que consta de la pastilla exterior (subestructura A), el rotor del disco (subestructura B), la pastilla interior (subestructura C), la pinza atornillada con dos pernos de guía (subestructura D) y el soporte de la pinza atornillado con el pivote de la dirección (subestructura E), los modelos FE de las subestructuras se construyen sobre la base de los modelos FE de las subestructuras se construyen sobre la base de perfiles topológicos detallados, los parámetros de modelado de cada subestructura se ilustran en la Tabla 4-1. (Flores et al., 2022, p. 1).

**Tabla 4-1:** Parámetros de modelado de cada subestructura

Parts	FEM		Density (kg/m <sup>3</sup> )	Elastic modulus (Mpa)	Poisson's ratio	Element type	No. Of elements	No. of nodes
A	Outer pad		2620	2300	0.3	Solid45: Tetra4	34787	7597
B	Brake disc		7800	220000	0.3	Solid45: Penta& Hex8	8546	13467
C	Inner pad		2620	2300	0.3	Solid45: Tetra4	34738	7588
D	Brake caliper		7800	130000	0.25	Solid45: Tetra4	23912	7014
E	Brake bracket		7800	130000	0.25	Solid45: Tetra4 Penta6 Hex8	105249	28294

Fuente: Flores et al., 2019, p. 1

### 1.5.11. Funcionamiento en seco y húmedo

En condiciones de frenado continuo en seco, los coeficientes de fricción de todos los materiales de las pastillas de freno no comerciales eran insensibles al tipo de materiales de las pastillas de freno. Además, todos los materiales de revestimiento de frenos muestran un ligero aumento en el coeficiente de fricción (5-19 %) al aumentar la presión o la velocidad. Al mismo tiempo, la tasa de desgaste depende en gran medida del tipo o composición del material de las pastillas de freno

y de la presión. Por el contrario, en condiciones de deslizamiento húmedo, los coeficientes de fricción se redujeron en un factor de 2.

### ***1.5.12. Análisis sobre el sistema de frenos***

#### *1.5.12.1. Análisis del chirrido del freno de disco*

Según (García et al., 2019, p. 389), el ruido de los frenos ha sido objeto de estudio por parte de los fabricantes de automóviles durante años debido a las frecuentes quejas de los clientes y a los altos índices de garantía. Los frenos desarrollan grandes y sostenidas vibraciones inducidas por la fricción, conocidas como chirridos de frenos. El chirrido de los frenos se considera un importante problema de funcionamiento en los turismos y vehículos comerciales. En este trabajo de investigación, el objetivo es determinar las principales causas de la aparición del chirrido de los frenos de disco utilizando el método de los elementos finitos (MEF). Se muestra la influencia de los parámetros de funcionamiento (coeficiente de fricción, presión de frenado y velocidad angular) y la rigidez de contacto en la estabilidad dinámica del sistema de frenado.

#### *1.5.12.2. Análisis termodinámico en discos de freno*

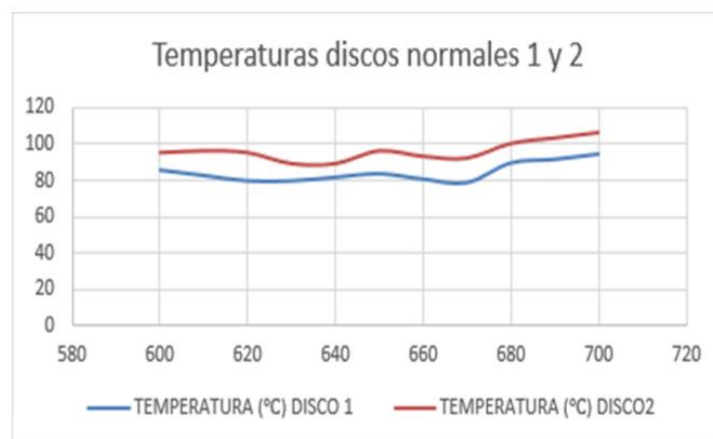
Los sistemas de frenado funcionan por fricción para reducir la velocidad de un cuerpo en movimiento a través del contacto mecánico entre dos superficies. Actualmente, dependiendo de la aplicación, existen diferentes tipos de frenos: de tambor, de banda, de disco y de cono. Especialmente en los automóviles, los frenos de disco delanteros y los frenos de tambor traseros son los más utilizados. Los frenos de disco se diferencian de otros tipos en que la fuerza generalmente se aplica a la superficie del disco en lugar de radial como los frenos de tambor y de disco. Otra característica distintiva es que el par de fricción no soporta el par de accionamiento (efecto de energizante), como es el caso de los frenos de tambor y los frenos de embrague. Como resultado, pequeños cambios en el coeficiente de fricción no afectan significativamente la fuerza de frenado requerida para detener el vehículo.

De acuerdo con (Chérrez et al., 2018, p. 83-84), la potencia consumida por el sistema de frenos se toma de la energía cinética y potencial del vehículo, que se convierte en calor. Este calor se genera a intervalos cortos durante el funcionamiento. Para que un sistema de frenado funcione correctamente, el calor generado debe disiparse lo más rápidamente posible para que las sucesivas operaciones de frenado no provoquen altas temperaturas, desestabilicen los elementos del sistema de frenado y comprometan la seguridad de este. El movimiento del vehículo en la carretera disipa el calor generado principalmente por convección y radiación, pero un frenado excesivo puede

hacer que la temperatura se eleve hasta un límite (temperatura de saturación), dependiendo de la capacidad de disipación de calor del material del disco de freno.

### 1.5.12.3. *Análisis de la temperatura de un disco de freno convencional ventilado vs un disco hiperventilado mediante mecanizado*

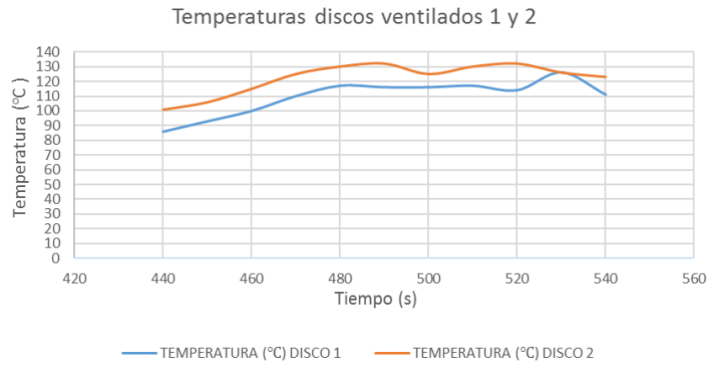
En primer lugar, se realizó un monitoreo de temperatura con discos de freno originales Dmax 4x4 en vías urbanas e interurbanas. Luego, se recopilaron datos de temperatura utilizando discos de freno ventilados rediseñados y se realizaron pruebas en la misma ruta. Finalmente, los datos de temperatura son monitoreados con un disco original instalado en la rueda delantera izquierda y un disco hiperventilado instalado en la rueda delantera derecha. En esta sección, la toma de datos de temperatura se realiza en un tramo de carretera seleccionado (Tambo-Cañar) utilizando discos convencionales a diferentes velocidades del vehículo. La grafica muestra los datos de temperatura monitoreados por un disco de freno ventilado que funciona de 80 °C a 100 °C (Rojas et al., 2020, p. 64).



**Gráfico 5-1:** Temperatura de discos ventilados

**Fuente:** Rojas et al., 2020.

Se realizaron pruebas en la misma ruta elegida (Tambo-Cañar) para obtener datos de temperatura con discos originales, y los resultados obtenidos con discos ventiladas se puntualizan en la Grafica 6-1. Obtener un rango de temperatura de operación de 90 a 130 °C (Rojas et al., 2020, p. 64).

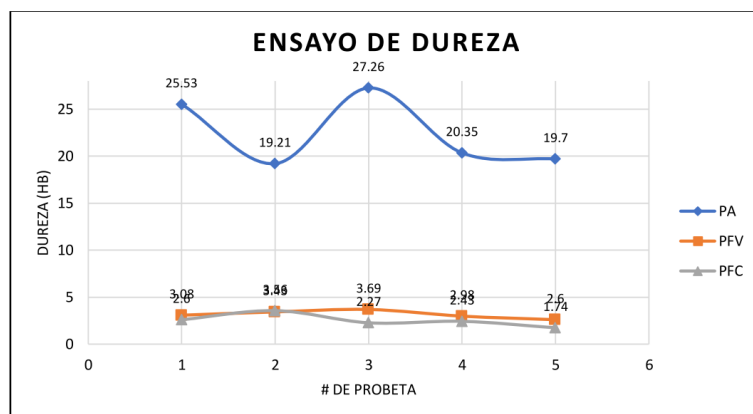


**Gráfico 6-1:** Temperatura de discos hiperventilados

Fuente: Rojas et al., 2020.

1.5.12.4. *Análisis comparativo de dureza de probetas de freno con fibra de vidrio, con cabuya y amianto*

Para la realización de este tipo de análisis comparativo se los representara con las siguientes siglas en la gráfica, pastillas con fibra de vidrio (PFV), pastillas con fibra de cabuya (PFC) y por último pastillas de amianto (PA). De acuerdo con (Martínez & Toasa, 2019, p. 15), se da a notar que existe variaciones de datos entre las probetas, la cual se puede comprobar con la gráfica comparativa realizada que no resulta viable realizar la sustitución de la fibra de cabuya por el amianto ya que la PFV es inferior a la PA con un 85.92% que equivale a un 19.25 HB de variación con un 14.3% en reducción de costo la cual no compensa con la variación que existe y tampoco resulta viable la sustitución de la fibra de cabuya por el amianto ya que PFC con la PA dio una variación muy elevada de 19.89 HB, que equivale a un 88.76% y una reducción del costo del 17.14% la cual no recompensa con la variación que existe.

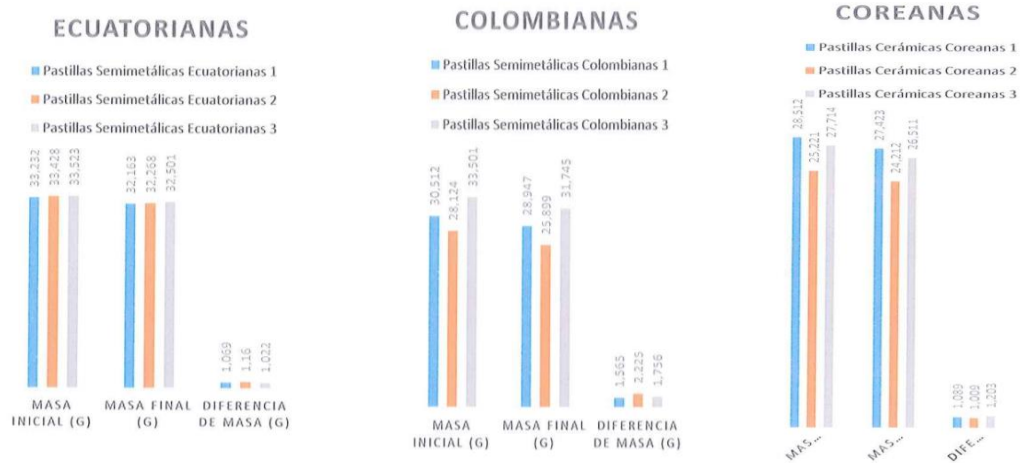


**Gráfico 7-1:** Temperatura de discos hiperventilados

Fuente: Martínez & Toasa, 2019, p. 30.

1.5.12.5. *Análisis mecánico del desgaste de las pastillas de freno en las motocicletas*

Para este estudio se realizó las pruebas en el banco de frenado de 3 diferentes marcas de pastillas según el país, en este caso las pastillas ecuatorianas, las colombianas y las coreanas. De acuerdo con las gráficas de los diferentes tipos de pastillas se observará la diferencia de masa, la masa inicial y su masa final. Gracias a eso se puede deducir que tipo de pastillas le conviene más al usuario o a su vez con cual se siente más cómodo al rato del frenado (Ríos & Rivera, 2017, p. 13).



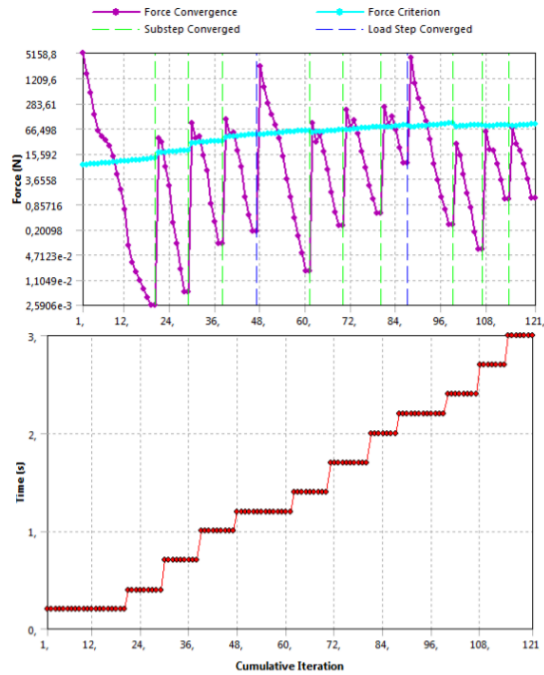
**Gráfico 8-1:** Desgaste de las pastillas de freno en motocicleta

Fuente: Ríos & Rivera, 2017.

A partir de los resultados logrados se puede afirmar que las pastillas coreanas poseen una menor diferencia de masa perdida en comparación a las otras dos, sin embargo, no son las pastillas más resistentes al desgaste; esto debido a que este tipo de pastillas fueron desgastadas siguiendo el parámetro E de las normas ASTM G65 mientras que las pastillas semimetálicas fueron analizadas con el parámetro B de la norma ASTM G65. Esta elección de los parámetros se hizo de esa forma ya que las pastillas cerámicas no cumplían con las mismas características que las pastillas semimetálicas las cuales siguieron los parámetros B de la norma ASTM G65 (Ríos & Rivera, 2017, p. 142).

1.5.12.6. *Convergencia de la carga en los discos*

De acuerdo con el análisis de (Gutierrez & Vinuesa, 2018, p. 189), se puede apreciar la convergencia de la carga creada por la presión de la pastilla al disco para un desplazamiento de 5 milímetros y una de velocidad 90 Km/h en 121 pruebas . En las primeras iteraciones oscila con una mayor amplitud, a medida que las iteraciones se incrementan su amplitud se reduce manteniéndose de una manera semejante y esta estabilidad es tomada como la convergencia.



**Gráfico 9-1:** Convergencia de la carga generada

Fuente: Gutiérrez & Vinueza, 2018.

### 1.5.13. Desarrollo de fibras naturales

#### 1.5.13.1. Fibras de Caryota

Según (Sai Krishnan et al., 2019, pp. 2-6), las fibras de *Caryota urens*, se encuentra en todas las regiones asiáticas y está disponible en abundancia, las fibras se agregaron en porcentajes en peso de 5, 10 y 15, se evaluaron las diversas propiedades físicas, químicas y mecánicas. El aumento del porcentaje en peso de fibras de *Caryota urens* en la formulación de la pastilla de freno tuvo una tendencia a la baja en el rendimiento de desgaste, pero aumentó las propiedades de recuperación.

Las propiedades físicas, químicas y mecánicas de las pastillas de freno a base de fibras CUS se evalúan y se dan en la tabla 5-1. El CUB1 tiene la densidad más alta de 2,39 g cc<sup>-1</sup>, que es más alta en comparación con los otros dos compuestos. Esto se debe principalmente a la mayor densidad de las baritas, que es de 4,1 g cc<sup>-1</sup> que es más alta que las fibras naturales. El aumento de fibras CUS disminuyó la dureza debido a la presencia de baritas en menor porcentaje en peso que no llenan los poros que son imprescindibles para una frenada eficaz (Sai Krishnan et al., 2019, pp. 2-4).

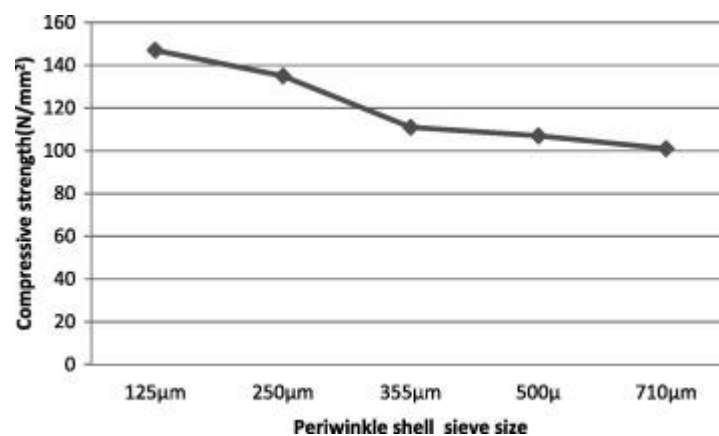
**Tabla 5-1:** Características físicas, químicas y mecánicas de los composites de fricción desarrollados

Propiedades	Unidad	Estándar	CUB1	CUB2	CUB3
Densidad	$\text{g cc}^{-1}$	ES 2742 Parte-3	2,39	2,32	2,28
Dureza	Sin unidad		105	97	91
Extracción de acetona	%		1.204	1,195	1,183
Contenido de cenizas	%		83,26	81,79	79.21
Porosidad	%	JIS D 4418	4.3	5.24	5.57
Resistencia a la cizalladura	$\text{N mm}^{-2}$	ISO 6312	442,3	451,2	456,2

Fuente: Sai Krishnan et al., 2019.

### 1.5.13.2. Fibras de concha de Bígaro

Las propiedades compresivas de las muestras se presentan en la gráfica 10-1 . Estaba claro que la resistencia a la compresión de la pastilla de freno desarrollada aumentaba a medida que aumentaba el tamaño de partícula de la cáscara del bígaro. Esto puede atribuirse al endurecimiento de la resina por las partículas de la cáscara del bígaro. La formulación de la pastilla de freno con partículas de cáscara de vincapervinca de  $125\ \mu\text{m}$  mostró una mejor firmeza en la compresión ha comparación de los diferentes tamaños de tamiz utilizados (Yawas, Aku y Amaren, 2016, p. 103).



**Gráfico 10-1:** Variación de la resistencia a la compresión

Fuente: Yawas, Aku y Amaren, 2016.



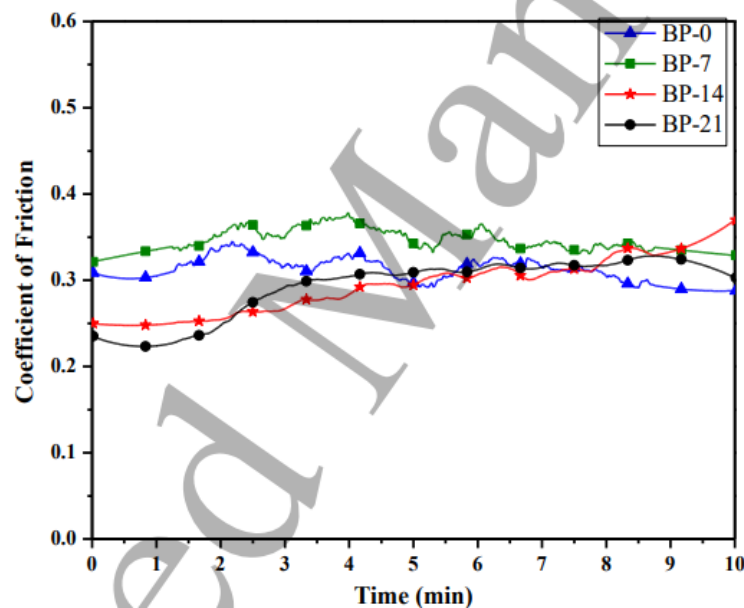
### 1.5.13.3. Rendimiento del polvo de cáscara de cangrejo

Según (Lenin Singaravelu et al., 2019, p. 6512), las pastillas de freno a base de polvo de cáscara de cangrejo procesadas térmicamente mostró una mejor estabilidad térmica con un residuo de carbón del 37%, mientras que el tratado químicamente tenían mejores características de desvanecimiento y recuperación con un tasa de desvanecimiento del 1.71% y tasa de recuperación del 99.86% debido a su mejor disipación de calor y estructura gruesa.

### 1.5.13.4. Fibra de plátano lignocelulósica

Para los resultados de fricción y desgaste se muestra una composición BP-0, BP-7, BP-14, BP-21 que contenían 0% en peso, 7% en peso, 14% en peso y 21% en peso de fibra de banano, respectivamente. De las distintas composiciones de fibra de banana, la composición BP-7 consta con la mayor densidad, esto se debe a la misma composición de fibra de banana, ya que aumenta el peso de la fibra y merma las propiedades de fijación de los componentes a altas temperatura (Bernal y Vargas, 2019, p. 55).

Según (Bashir et al., 2019, p. 25), BP-7 ha mostrado la valor más alto y estable del coeficiente de fricción con un desgaste insignificante incluso en condiciones de funcionamiento severo condiciones, la razón puede deberse al hecho de que en la muestra BP-7 solo el 7% en peso de la fibra de banano junto con el 28% en peso de resina fenólica fue suficiente para unirlos elementos. Para BP-0, BP-14 y BP-21 ha disminuido bajo estas condiciones operativas crecientes como se muestra en l gráfica 11-1.



**Gráfico 11-1:** Coeficiente de fricción a 300 °C y 60 N

Fuente: Bashir et al., 2019.

#### 1.5.13.5. Fibra de palmiste y caña de madera

En la tabla 6-1 muestra la comparación de la densidad, fuerza de las distintas composiciones entre la resina, palmiste y caña de madera usados como fibra natural en las pastillas de freno. La solución seleccionada muestra niveles de factor de 30% de contenido de resina, 21,329% de palmiste de fibra y 40% de madera de caña. Con los niveles de factor dados, se obtuvo una respuesta de compresión de 107,3 MPa, se obtuvo 1,728 g/cm<sup>3</sup> de densidad (Obika et al., 2020, pp. 2-3).

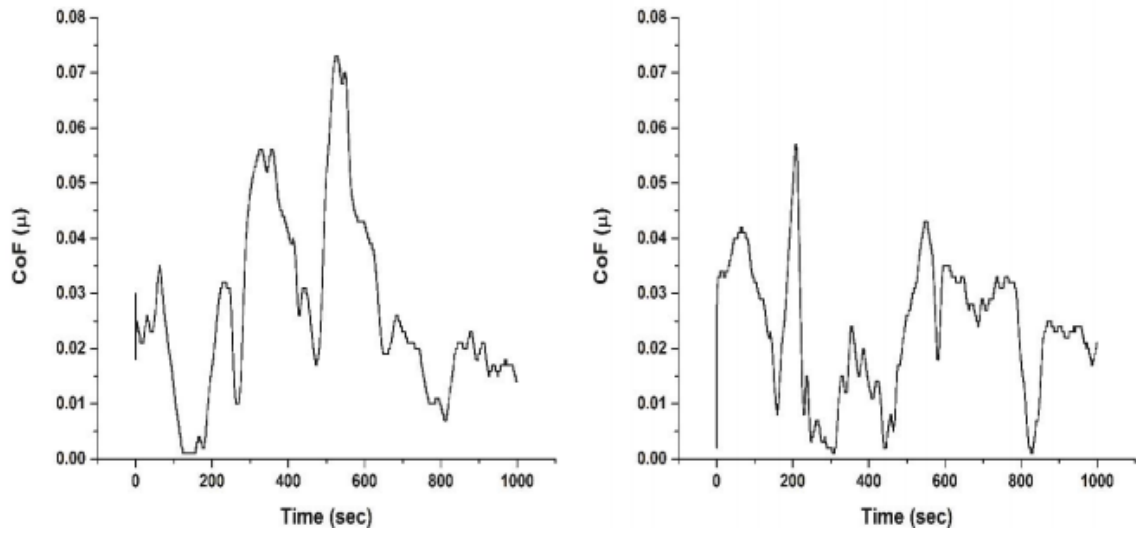
**Tabla 6-1:** Comparación de las distintas soluciones entre palmiste y caña de madera

<b>Resina</b>	<b>Palmiste</b>	<b>Caña de madera</b>	<b>Fuerza de compresión</b>	<b>Densidad</b>
30.000	21.329	40.000	107.300	0.674
30.000	21.183	40.000	107.436	0.674
30.000	21.493	40.000	107.147	0.674
30.000	21.616	40.000	107.033	0.674
30.000	21.020	40.000	107.58	0.674
29.997	21.432	40.000	107.190	0.674
30.000	21.694	40.000	106.960	0.674
30.000	20.874	40.000	107.725	0.674
30.000	210801	40.000	106.860	0.674
30.000	20.706	40.000	107.882	0.674

Fuente: Obika et al., 2020.

#### 1.5.13.6. Compuesto cerámico reciclado

La composición del compuesto cerámico reciclado está formada por acero particulada (relleno refractario), goma arábiga (aglutinante), viruta de aluminio (abrasivo), grafito (rendimiento) y arcilla, la pastilla de freno compuesta desarrollada exhibió una mejor propiedad de fricción (0.06  $\mu$ ) que la pastilla de freno de calidad comercial adquirida (0.033) hasta 200 s, como se muestra en la gráfica 12-1. Más allá de los 200, hubo una mejora de la propiedad de fricción del freno de calidad comercial adquirido. La posible explicación se podría vincular a la incapacidad para soportar el aumento de la energía de calefacción generada (Agunsoye et al., 2018, p. 40).



**Gráfico 12-1:** Comparación de coeficiente de fricción

Fuente: Agunsoye et al., 2018.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO METODOLÓGICO

En el presente capítulo de investigación se detalla los métodos de investigación correspondientes al proceso de estudio, también se establece el método científico de la investigación, además la metodología con su respectivo instrumento para la obtención de resultados y finalmente la estructura de metodología para la investigación.

#### 2.1. Método inductivo-deductivo

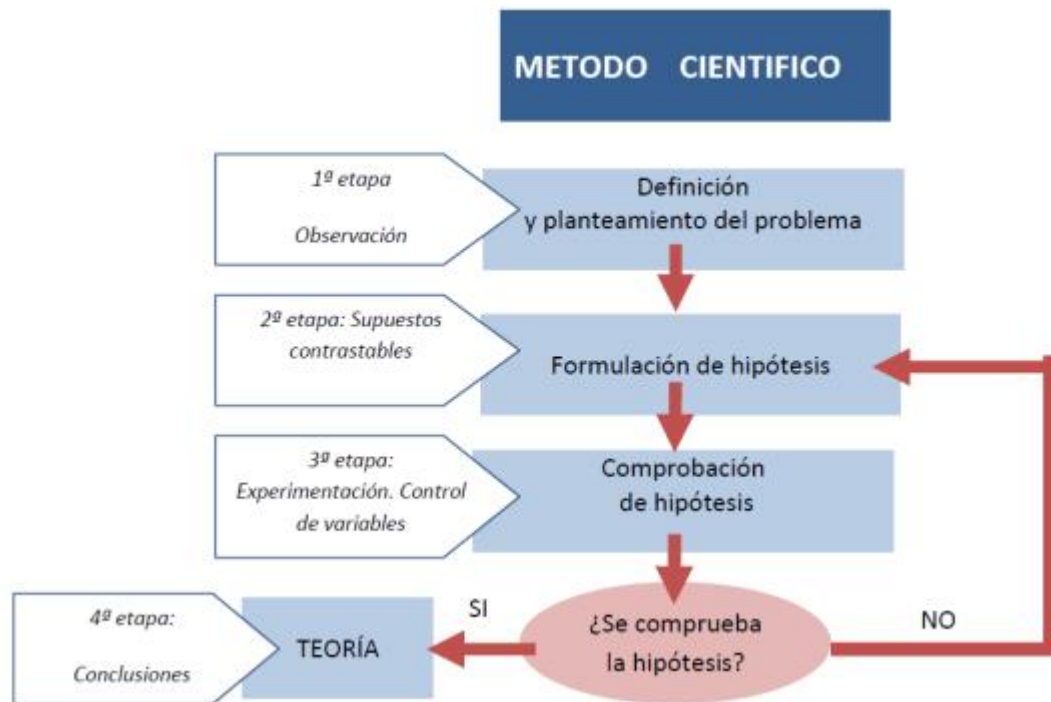
Para la investigación se planteó el método inductivo-deductivo, Andrés Rodríguez y Omar Pérez menciona “el método inductivo-deductivo está conformado por dos procedimientos inversos: inducción y deducción. La inducción es una forma de razonamiento en la que se pasa del conocimiento de casos particulares a un conocimiento más general, que refleja lo que hay de común en los fenómenos individuales, mientras que la deducción se pasa de un conocimiento general a otro de menor nivel de generalidad” (Rodríguez & Pérez, 2017, p. 179).

La investigación se basa en el método inductivo-deductivo, a causa de que el estudio se centra en determinar la eficiencia de frenado de los vehículo a prueba, dependiendo del material de fricción que utilice en las pastillas de freno, para lo cual se realizó una investigación teórica de varios casos particulares como la adición de fibras naturales en las pastillas de freno para mejorar su funcionamiento, lo que permitirá acercarnos al resultado de cual material mejora la eficiencia de frenado de las pastillas en el vehículo.

En forma general mediante la investigación se corroboró que las pastillas cerámicas aportan una mayor durabilidad al sistema de frenos y mediante los resultados empíricos de la investigación se determinara su mayor eficiencia en el frenado del vehículo.

#### 2.2. Método científico

La investigación utiliza el método científico basado en los métodos empíricos, el cual es mencionado por la Dra. Elena Gonzáles, la cual menciona: “el conocimiento se presenta de manera lógica, autocorrectiva y progresiva. Es característico de las ciencias naturales y sociales o humanas, y a su vez caracteriza a las ciencias descriptivas. Es el método general más utilizado. Se basa en la lógica empírica”.



**Figura 1-2:** Etapas del método científico

Fuente: Castán, 2006.

A continuación, se detallan las etapas del método científico.

- *“Definición y planteamiento del problema:* Pregunta para la cual no encontramos respuesta. Es necesario que sea resoluble y debe ser formulado en términos adecuados.
- *Formulación de la hipótesis:* La hipótesis exige una formulación más elaborada con la aparición de las variables y la relación que esperamos encontrar entre ellas. Es la “verdad provisional” o cómo se explica el problema a la luz de lo que se sabe. Las hipótesis se pueden formular como objetivos o resultados que se quieren conseguir. Para aceptar o rechazar la hipótesis (o conseguir el objetivo) se elige un determinado diseño de estudio.
- *Recogida y análisis de datos:* Comprobación empírica tras recogida de datos. Es la etapa más específica de cada técnica concreta del método científico.
- *Confrontación de los datos con la hipótesis o incisos de la investigación.*
- *Conclusiones y generalización de los resultados:* Si los datos avalan la hipótesis será confirmada. En caso contrario se concluirá que en las circunstancias contempladas la hipótesis no ha sido confirmada y/o se volverá a la segunda etapa proponiendo una nueva y coherente solución al problema.
- *Nuevas predicciones:* Esta etapa es añadida por algunos autores y hace referencia a nuevos problemas que surgirían de los resultados obtenidos.”

El estudio se basa en el método empírico los cuales son: la medición y la experimentación. Se necesita un equipo especializado para la medición de la eficiencia de frenado, en donde muestra los valores obtenidos durante la fase de prueba del proceso, obtendremos valores como el desequilibrio de los ejes, distancias de los ejes, el peso delantero y posterior del vehículo.

En la experimentación del proceso de la eficiencia de frenado se probará que material es más eficiente en las pastillas de freno en el momento de frenado del vehículo, para lo cual se analiza los datos obtenidos por el dispositivo de medición, además se muestra una gráfica comparativa de los resultados alcanzados.

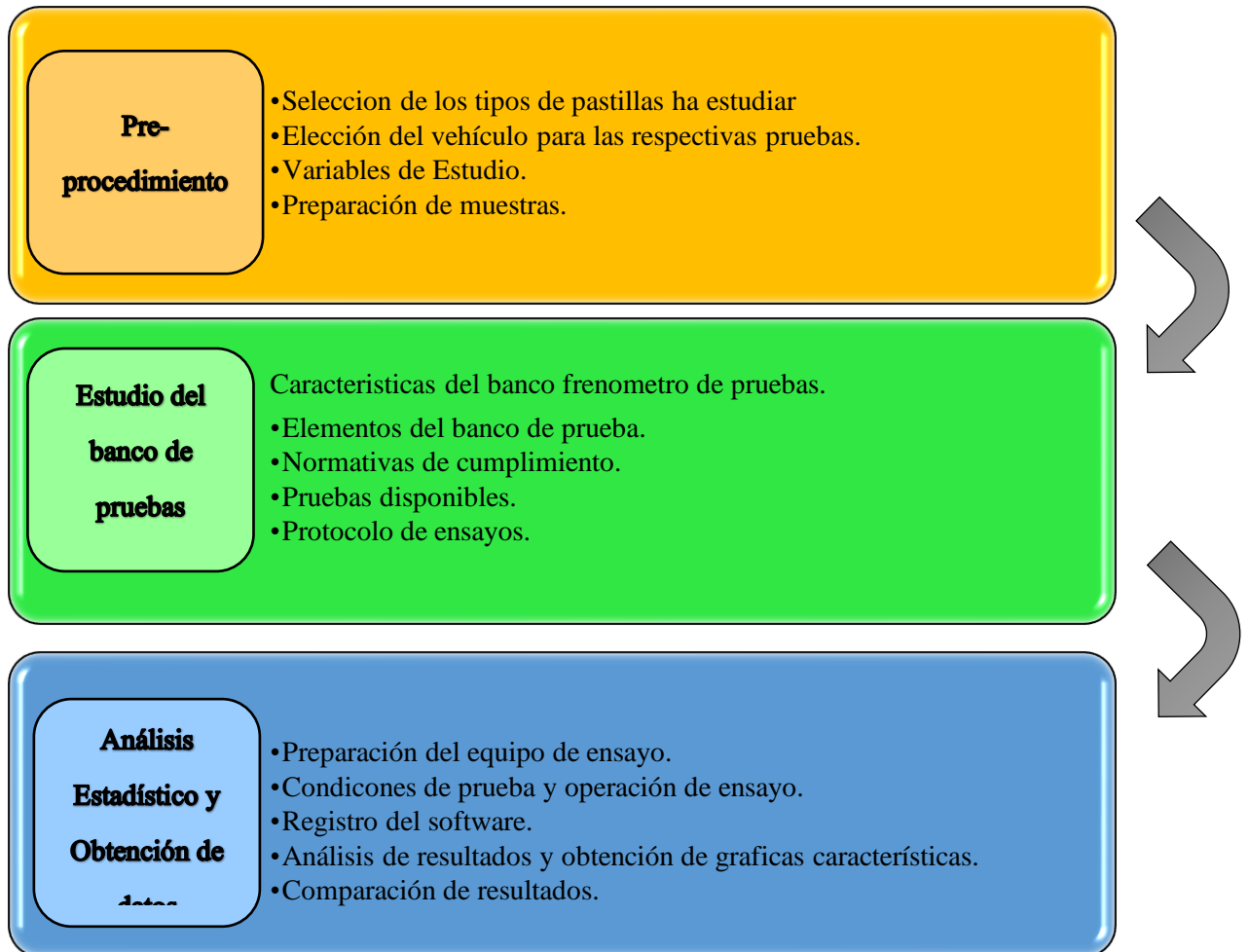
### **2.3. Metodología cuantitativa**

“A través del tiempo, el ser humano ha estado en la búsqueda constante de nuevos conocimientos, siendo la investigación cuantitativa una de las vías para obtenerlo, teniendo su soporte en la indagación a través de elementos cognitivos y en datos numéricos extraídos de la realidad, procesados estadísticamente para probar teorías” (Del Canto y Silva, 2013, p. 26).

Se tomará en cuenta para la presente investigación la metodología cuantitativa, “La metodología cuantitativa es aquella empleada por las ciencias naturales o fácticas, que se vale de datos cuantificables a los cuales accede por observación y medición”, para la obtención de datos se utilizará un banco frenómetro VTEQ 3000 que permitirá determinar la fuerza de frenado, eficacia de frenado, diferencia de frenado y ovalidad de los discos. Dicho equipo está calibrado bajo parámetros establecidos por la empresa RAPI-FRENOS adecuada 100% a la norma técnica ecuatoriana para la revisión técnica vehicular ubicada en la ciudad de Quito. Gracias a este instrumento de medición automotriz se logrará medir dichos parámetros mencionados anteriormente y se procederá a transferirlos a Excel y Minitab realizando un análisis de resultados. Para el estudio de los datos se realizará un control estadístico para poder confrontar los resultados, el estudio se basa en el análisis multivariante, en concreto se trata del análisis de varianza (ANOVA) el cual permite tener comparación de las medias, conforme el estudio MÉTODOS ESTADÍSTICOS Y ECONOMETRÍCOS EN LA EMPRESA Y PARA FINANZAS no dice “Los modelos ANOVA (ANalysis Of VAriance) son técnicas de Análisis Multivariante de dependencia, que se utilizan para analizar datos procedentes de diseños con una o más variables independientes cualitativas (medidas en escalas nominales u ordinales) y una variable dependiente cuantitativa (medida con una escala de intervalo o de razón). En este contexto, las variables independientes se suelen denominar factores (y sus diferentes estados posibles o valores son niveles o tratamientos) y la variable dependiente se conoce como respuesta” (Ordaz et al., 2010, p. 14).

La variable independiente para esta investigación será los 3 tipos de pastillas de frenos que son: semimetálicas, de carbono y cerámicas, mientras que las variables dependientes serán la fuerza de frenado, eficacia de frenado, diferencia de frenado y ovalidad de los discos.

### PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO



**Gráfico 1-2:** Planteamiento metodológico.

Realizado por: Arteaga & Heredia, 2021.

## 2.4. Pre-procedimiento

### 2.4.1. Tipos de variables

**Tabla 1-2:** Designación de las nomenclaturas

FACTOR	DESIGNACIÓN
Pastillas de Frenos Semimetálicas	PFS
Pastillas de Frenos Carbono	PFC
Pastillas de Freno Cerámicas	PFCE

**Realizado por:** Arteaga & Heredia, 2021.

#### 2.4.1.1. Variables independientes

- Pastillas de Frenos Semimetálicas
- Pastillas de Frenos Carbono
- Pastillas de Freno Cerámicas

#### 2.4.1.2. Variables dependientes

- Fuerza de frenado
- Eficacia de frenado
- Diferencia de frenado
- Ovalidad de los discos

El comportamiento de las variables mencionadas anteriormente serán el estudio de esta investigación, tomando en cuenta la adaptación de los tres tipos de variables independientes en 2 vehículos que se los mencionara más adelante, así como por que fueron seleccionados para este estudio. De acuerdo con las pruebas realizadas se verificará que tipo de pastillas de frenos es mejor para cada vehículo escogido.

### 2.4.2. Selección de los tipos de pastillas a estudiar

Para la realización de esta investigación se tomó en cuenta los tres tipos de pastillas más vendidas en Ecuador respecto a los últimos años las cuales son las pastillas de frenos semimetálicas, de carbono y por ultimo las de cerámica. Las pastillas de frenos son uno de los componentes de mayor importancia en el vehículo por la seguridad que brindan, son parte fundamental del sistema de frenos ya que son las encargadas de proporcionar la fricción necesaria a los discos de tal forma



que al accionar el pedal el vehículo disminuirá su velocidad y posteriormente se detendrá, su utilización es más común en automóviles, motos y camiones.

#### *2.4.2.1. Pastillas semimetálicas*

Estas pastillas de frenos estos hechos de 30% al 65% de metal, generalmente están elaboradas de lana de acero, alambre de cobre u otros materiales metálicos. A estos tipos de pastillas se los conoce por su durabilidad, aguantan bien el alto rendimiento, pero a su vez también son conocidas por desgastar más rápidamente los discos de freno. Además, las pastillas de freno semimetálicas no funcionan bien en temperaturas muy bajas (Rodríguez García y Nieto Sánchez, 2017, p. 58).



**Figura 2-2:** Pastillas semimetálicas

**Fuente:** Borawski, 2020.

#### *2.4.2.2. Pastillas de Carbono*

El carbono es un elemento sumamente importante e imprescindible. Se trata de uno de los elementos más abundantes en el universo. Las pastillas de carbono están hechas por materiales compuestos de carbono-carbono por lo general contiene fibras de carbono en una matriz que es principalmente de carbono con aditivos menores. Los frenos de carbono-carbono tiene una baja fricción en frío, pero una vez que se calientan mantienen una fricción buena a altas temperaturas (Chengal tet al., 2013, p. 386).



**Figura 3-2:** Pastillas de Carbono

Fuente: Borawski, 2020.

#### 2.4.2.3. Pastillas Cerámicas

Se estima que aproximadamente el 40% de los nuevos modelos de vehículos que actualmente se venden en América del Norte cuentan con materiales de fricción (pastillas) de cerámica como equipo original. Estas pastillas utilizan compuestos de cerámica y fibras de cobre, en sustitución de las fibras de acero utilizadas en las pastillas semimetálicas, poseen un ciclo de vida muy largo, son poco ruidosas y trabajan bien a altas temperaturas (Zambrano et al., 2019, p. 68).



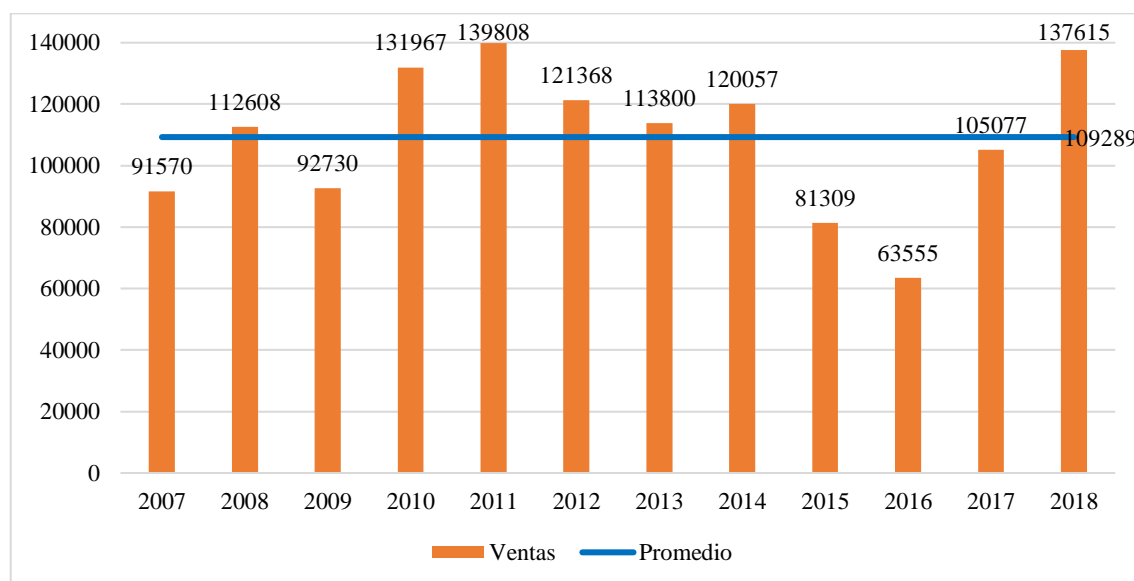
**Figura 4-2:** Pastillas de Carbono

Fuente: Zambrano et al., 2019.

#### 2.4.3. Selección de vehículos

Durante el 2018 el sector automotor creció un 31 % en relación con el 2017, y cerró el mercado con 137 615 unidades vendidas, cifra similar a la registrada en el 2011. Esto ocurrió gracias a una mejora de la economía, la expansión del crédito y la eliminación de una serie de restricciones que limitaban la comercialización de vehículos nuevos en Ecuador. Gracias a la eliminación de

restricciones comerciales, el 2018 es el segundo mejor año de recuperación para el sector automotor en Ecuador, superado únicamente por 2011.

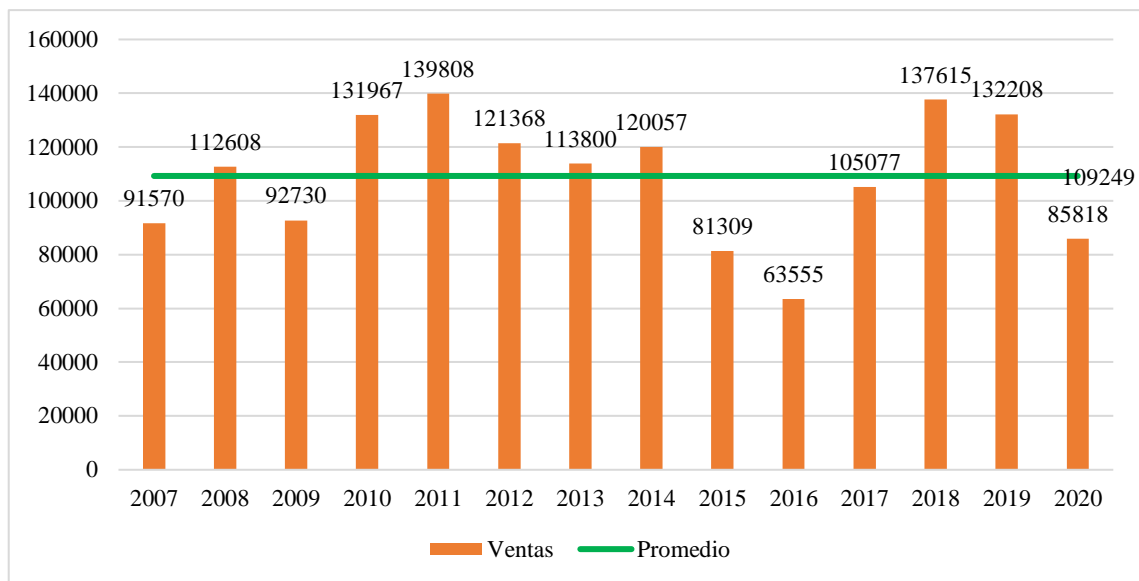


**Gráfico 1-2.** Ventas de vehículos desde 2007 hasta 2018

Fuente: AEADE, 2018.

La razón principal para esta recuperación fue la demanda represada de años anteriores, sumada a las condiciones de la economía nacional, una política comercial de mayor apertura y el apoyo de las instituciones financieras a través del crédito. Esta demanda represada se originó con el establecimiento de cupos de importación y salvaguardias que impuso el Gobierno, y tuvo su fin con la entrada en vigor del Acuerdo Comercial entre Ecuador y la Unión Europea el 1 de enero de 2017. Parte de los compromisos asumidos en ese proceso de negociación fue que Ecuador cumpliera sus obligaciones internacionales en el marco de la Organización Mundial de Comercio (OMC).

Sin embargo, debido al Covid-19 hubo un desfase desde 2019 a 2020 en la economía ecuatoriana, durante este periodo el sector automotor disminuyó un 35.1% con relación al 2019, es decir, se vendieron 85.818 vehículos lo que afectó el comercio automotriz ya que durante los meses de marzo, abril y mayo el mercado estuvo cerrado debido a las medidas adoptadas por el Gobierno para evitar la propagación de la enfermedad.

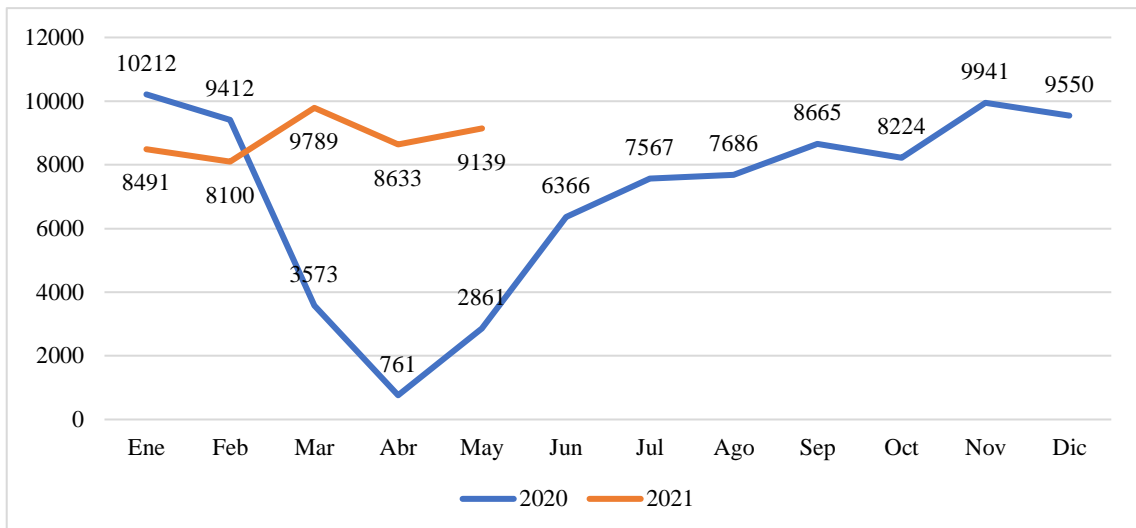


**Gráfico 2-2:** Ventas anuales de vehículos

Fuente: ABIMAPI, 2020.

La fuerte contracción que sufrió el mercado en 2020, debido a la pandemia y los cambios estructurales que conllevó a nivel económico y social, generó cambios en el sector automotor ecuatoriano que persistirán en el mediano plazo y reducirán el tamaño de la demanda en el mercado nacional. Debido a las dificultades económicas evidenciadas en el 2019, el 2020 inició con previsiones de un ligero decrecimiento en la venta de vehículos. En marzo, la incertidumbre por la llegada de la COVID-19 al país se intensificó y, finalmente, tras la declaratoria de emergencia el 16 de marzo cambió completamente el panorama para el sector automotor (ABIMAPI, 2020, p. 1).

Por otro lado, las ventas de vehículos nuevos en el mes de mayo de 2021 registraron un crecimiento interanual de 219% frente al mismo mes de 2020, mes en el cual se tuvo un cierre parcial de la economía por el COVID 19. También se evidencia un crecimiento mensual de 6% con relación al mes anterior abril de 2021. Dentro del segmento de vehículos livianos, las camionetas registraron el mayor crecimiento interanual: 338%.



**Gráfico 3-2.** Ventas mensuales de vehículos

Fuente: AEADE, 2021.

#### 2.4.3.1. Especificaciones del primer vehículo seleccionado


**Tabla 2-2:** Especificaciones del vehículo Toyota Hilux

	
Marca	Toyota
Modelo	CCT Hilux 4X4 CD DIESEL
Año del modelo	2012
Motor	4 cilindros en línea
Cilindrada	2.494 cm <sup>3</sup>
Combustible	Diesel
Tipo de vehículo	Pick Up
Transmisión	Tracción total, Manual
Relación de compresión	15,6 a 1
Potencia	3400 RPM
Par motor	343 Nm
Freno delantero	Discos
Freno trasero	Tambor

Realizado por: Arteaga & Heredia, 2021.

#### 2.4.3.2. Especificaciones del segundo vehículo escogido

**Tabla 3-2:** Especificaciones del vehículo Chevrolet Aveo

	
Marca	Chevrolet
Modelo	Aveo Family
Año del modelo	2012
Motor	4 cilindros en línea
Cilindrada	1498 cm <sup>3</sup>
Combustible	Gasolina
Tipo de vehículo	Sedán
Transmisión	Tracción total, Manual 5 velocidades
Relación de compresión	18 a 1
Potencia	5600 RPM
Par motor	128 Nm
Freno delantero	Discos
Freno trasero	Tambor

Realizado por: Arteaga & Heredia, 2021.

#### 2.5. Estudio del banco de pruebas

El equipo BRAK 3000, es un componente del equipo de revisión vehicular VTEQ 3000 y es el cual se va a utilizar para las pruebas, el frenómetro para livianos BRAK 3000 ofrece de serie todas las funcionalidades que se pueden necesitar, incluyendo kit para vehículos 4x4 mediante inversión de giro, control remoto, variadores de frecuencia para motores, tapas para rodillos, kit para bidireccional y otras muchas ventajas que ofrece el control a través de la electrónica ethernet y software VTEQ. La solución modular VTEQ permite además añadir, modificar o eliminar partes de su línea de inspección, manteniendo siempre las partes existentes.



**Figura 5-2:** Frenómetro BRAK 3000

Fuente: FRENÓMETRO PARA LIVIANOS, 2016.

### 2.5.1. Características del banco frenómetro de pruebas

El equipo de pruebas nombrado se encuentra en la ciudad de Quito y su utilidad es indispensable para el presente proyecto, ya que permite obtener los datos a estudiar, las principales características se detallan en la tabla 2-2.

**Tabla 2-2:** Características del frenómetro

	
<b>Peso</b>	480 kg
<b>Dimensiones</b>	2.32x680x280 mm
<b>Potencia Motor</b>	2 x 4,6 kW
<b>Vía admisible</b>	755 ÷ 2.200 mm
<b>Velocidad Prueba</b>	5,4 km/h
<b>Máximo Peso Eje</b>	4.000 kg
<b>Medidas Rodillos</b>	723 x 206 mm
<b>Distancia Ejes Rodillos</b>	400 mm
<b>Coefficiente Fricción</b>	Seco > 0,8 Húmedo > 0,6
<b>Rango de Medición</b>	0 ÷ 6 kN
<b>Alimentación</b>	3 x 230 / 3 x 400 V 50 / 60 Hz
<b>Condiciones de Trabajo</b>	Temperatura -5 ÷ +40 °C Humedad Relativa < 95%

Realizado por: Arteaga & Heredia, 2021.

### 2.5.2. Elementos del banco de prueba

El banco de prueba es un frenómetro BRAK 3000 el cual forma parte de un equipo de inspección vehicular VTEQ 3000, se encuentra constituido por una bancada, rodillos, motorreductor, sensores de fuerza y peso.

- *Bancada:* Es la estructura por la cual está conformada el frenómetro BRAK 3000 y en la misma donde se acoplan los demás componentes del banco de prueba.
- *Rodillos:* Los rodillos son los encargados de hacer rotar las ruedas mediante la fuerza resabida por el motorreductor, durante la prueba la velocidad tangencial de los rodillos debe ser constante.
- *Motorreductor:* Este componente consta de un motor eléctrico y un reductor de velocidad, en conjunto convierten la energía eléctrica en mecánica.
- *Unidad de sensores:* Esta unidad consta de sensores de fuerza que determina la fuerza aplicada por parte del motorreductor y sensores de la capacidad de carga del equipo.
- *Elementos de seguridad:* Al realizar las pruebas de eficacia de los frenos, es fundamental que el dispositivo cuente con medidas de seguridad para evitar accidentes. Este equipo consta con trabas para los rodillos el cual no permite el giro de este en momentos innecesarios y acoples para la sujeción del vehículo.

### 2.5.3. Norma de cumplimiento

Este estudio se ajusta a la normativa nacional de revisión vehicular NTE INEN 2 349:2003, por la que se definen y normalizan los procedimientos de inspección técnica de vehículos. En la tabla 3-2 se establece las características técnicas que deberá cumplir el equipo de prueba.

**Tabla 3-2:** Características técnicas del equipo

Parámetro	Requerimiento
Tipo de Frenómetro	De rodillos con superficie antideslizante, empotrado a ras del piso y para la prueba de un eje por vez
Coefficiente mínimo de fricción (m)	0,8 en seco o mojado
Carga mínima de absorción sobre rodillos	7.500 kg para vehículos pesados y 3.000 kg para vehículos livianos
Valor de una división de escala (resolución)	1% en eficiencia y desequilibrio; 0,1 daN en fuerza de frenado
Dispositivos de seguridad	Parada automática en caso de bloqueo de ruedas. Puesta a cero automáticos antes de cada prueba.

Fuente: INEN, 2003, p. 3.



#### 2.5.4. Pruebas disponibles

En la Tabla 4-2 se muestra los posibles resultados que se obtiene en el estudio de la eficiencia de frenado.

- *Desequilibrio dinámico de freno:* Esta prueba permite determinar la fuerza de freno en las ruedas, permite comprobar la fuerza de frenado de ambas ruedas, se mide en porcentaje, si un porcentaje es mayor al otro o viceversa existe un desequilibrio dinámico.
- *Test de Ovalidad:* Mediante esta prueba es posible determinar defectos en los discos de freno y las patillas de freno, la ovalidad informa si la fuerza de frenado es constante o varía por algún defecto antes mencionado.
- *Pandeo de los discos de freno:* Esta prueba permite verificar el pandeo de los discos debido a un parámetro térmico que afecta a la estructura física del disco dependiendo de sus materiales de construcción.
- *Fuerza de frenado:* Permite medir la fuerza de frenado de cada eje en daN, podemos determinar la fuerza ejercida por el sistema de freno.

**Tabla 4-2:** Resultados posibles a obtener

Resultados de las pruebas de frenado repuestos originales							
Número de pruebas	Peso total del vehículo	Eficacia eje delantero	Desequilibrio eje delantero	Eficacia eje posterior	Desequilibrio eje posterior	Eficacia freno estacionamiento	Eficacia total de frenado
	kg	%	%	%	%	%	%
1	1228	85%	5%	71%	4%	22%	79%
2	1234	81%	9%	74%	6%	23%	78%
3	1228	78%	7%	74%	5%	24%	77%
4	1227	85%	7%	73%	5%	24%	80%
5	1225	80%	7%	73%	7%	26%	77%
6	1225	84%	7%	73%	4%	20%	79%
7	1230	90%	7%	73%	6%	24%	83%
8	1225	81%	9%	72%	6%	24%	77%
9	1230	79%	9%	73%	10%	21%	77%
10	1227	75%	8%	73%	7%	22%	74%
Promedio	1227.90	81.80%	7.50%	72.90%	6.00%	23.00%	78.10%

Fuente: Paredes. B, 2021.

### **2.5.5. *Protocolos de ensayo***

Las pruebas en el banco de ensayo BRAK 3000 está basado en la norma ISO 21069-2, en donde se establece los procedimientos y normas para una correcta medición de la eficacia de frenado en vehículos livianos, a continuación, se presenta dichas condiciones, como:

- Los rodillos del frenómetro y las ruedas deben estar limpias.
- La presión de los neumáticos debe ser la que indica el fabricante.
- La medida del peso estático del automóvil se hará con los rodillos detenidos.
- El equipo de medición destinado a realizar inspecciones oficiales debe estar certificado.
- Las medidas de frenada se tomarán considerando el sentido de la marcha del vehículo.

### **2.6. *Análisis estadístico y obtención de datos***

El estudio se basa en la norma NTE INEN 2 349:2003, el cual muestra de manera general el procedimiento de revisión vehicular, en específico el procedimiento para el uso del frenómetro el cual se especifica en el inciso 5.3.2.5, acerca de las pruebas de frenado.

#### **2.6.1. *Preparación del equipo de ensayo***

El equipo de medición debe seguirse acorde de los protocolos de ensayo señalados en el inciso 2.5.5 del presente documento, y debe estar acorde para medir y registrar los datos obtenidos en el proceso de experimentación.

#### **2.6.2. *Condiciones de prueba y operación de ensayo***

Se debe seguir las siguientes condiciones de prueba:

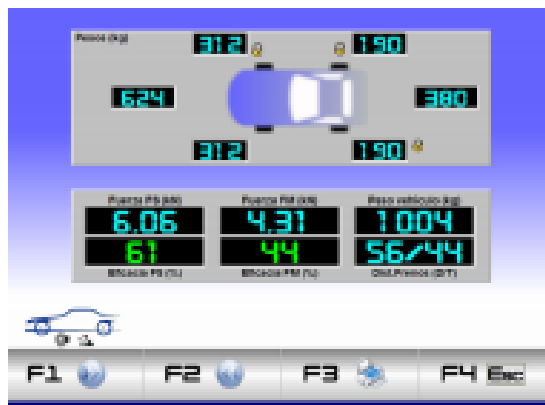
- Los rodillos del frenómetro deben estar en óptimas condiciones.
- Establecer los datos del vehículo a estudiar, a su vez calibrar el frenómetro.
- Los neumáticos del vehículo deben estar en buen estado manteniendo la misma presión en todos los neumáticos.
- Desmontaje y acople de las pastillas de freno que serán base del estudio.
- La temperatura apropiada para el estudio tiene que ser a temperatura ambiente (22 °C).
- Tabulación correcta de los datos para posteriores análisis.

Los pasos para la operación de ensayo son las siguientes:

- En el vehículo debe constar las pastillas de freno establecidas para el estudio.
- Preparación del vehículo en el banco de prueba para los primeros datos a obtener de la eficacia de frenado, tanto del eje delantero como el posterior.
- Se coloca el vehículo en los rodillos del banco de prueba y se procede a girar los rodillos a velocidad constante.
- Se obtiene los datos para determinar la eficacia de frenado en ambos ejes.
- Consiguientemente, una vez realizado las pruebas con el tipo de pastilla de freno seleccionado, se procede a desmontar y montar el siguiente tipo de pastilla a estudiar.

### 2.6.3. Registro del software.

El software que utiliza el equipo de medición es interno del equipo el cual se denomina A través software VTEQWin en el cual se procesa los datos mediante la unidad de sensores establecidos en el equipo.



**Figura 6-2:** Software de VTEQ 3000

Fuente: Alguesur, 2018.

### 2.6.4. Análisis de resultados y obtención de graficas características

Los datos obtenidos mediante el equipo se registran y tabulan en un software de análisis de datos denominado Minitab, en donde se procede a estudiar los datos y establecer un criterio analítico de los datos de cada tipo de pastilla de freno estudiada, con el fin de determinar la razón del estudio.

#### 2.6.4.1. Eficiencia de frenado

En el estudio de la eficiencia de frenado se aplica la ecuación 1.

$$E = \frac{F}{M.M.A * g} * 100 \quad (\text{Ec. 1-2})$$

donde:

E: valor de la eficacia en %

F: suma de todas las fuerzas de frenado en Newton.

M.M.A: masa máxima autorizada del vehículo en kg.

g: aceleración de la gravedad (9.8 m/s<sup>2</sup>).

#### 2.6.4.2. Desequilibrio de ejes

El desequilibrio de los ejes se calcula mediante la ecuación 2.

$$D = \frac{100(Fd - Fi)}{Fd} \quad (\text{Ec. 2-2})$$

donde:

D: desequilibrio

Fd: Fuerza de frenado máximo en la rueda derecha

Fi: Fuerza de frenado máximo en la rueda izquierda

Fd: Fuerza de frenado mayor entre los dos valores anteriores.

#### 2.6.5. Comparación de resultados.

En el análisis comparativo se procede a desglosar los datos obtenidos de los tres tipos de pastillas estudiadas, mediante un estudio de datos se determina que material mejora la calidad de frenado del vehículo, así también se determina que material es más resistente a la fricción, a la temperatura, a la fuerza ejercida en el sistema de freno y a la durabilidad de esta. En la comparación se basará en el análisis de datos en el software Minitab y se compara los datos con la ayuda de Excel.

En el estudio de datos se realiza un diagrama de dispersión para determinar si los datos obtenidos se correlacionan y tienen alguna relación entre los tipos de pastillas de frenos.

## CAPÍTULO III

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

#### 3.1. Resultados

Para los ensayos de las pastillas de freno se necesita medir los parámetros de fuerza total de frenado, eficacia total de frenado, desequilibrio de los ejes con sus respectivas eficiencias, la prueba se realizó bajo la norma NTE INEN 2 349:2003, las pruebas se realizaron en cuatro tiempos de medición para los tres tipos de pastillas de freno carbono, cerámica y semimetálicas respectivamente en cada vehículo a realizar los ensayos.

##### 3.1.1. Resultados en Toyota Hilux

Mediante los resultados obtenidos en el equipo de prueba se realizó las gráficas analíticas y comparativa de los distintos materiales de las pastillas de freno, en las gráficas se muestra la eficiencia de frenado en comparación al número de pruebas efectuado por cada tipo de pastilla, los datos se obtienen en un movimiento estático sobre cada eje del vehículo, se realizaron 4 pruebas por tipo para verificar la exactitud de las muestras de datos y descartar error del software del equipo de medición. Los valores obtenidos en las cuatro pruebas se pueden apreciar en la tabla 1-3.

**Tabla 1-3:** Valores obtenidos del estudio de las pastillas en el vehículo Toyota Hilux

		Pruebas	FRENOS			
			F.S(kN)	Desequilibrio eje delantero (%)	Desequilibrio eje Posterior (%)	Masa kg
<b>VEHÍCULO: TOYOTA HILUX</b>	Pastillas de Carbono	1	12,686	6,352512367	4,507	1932
		2	12,739	6,48619673	1,037	1930
		3	12,948	7,523590921	5,963	1940
		4	12,242	9,93485342	4,185	1943
	Pastillas de Cerámica	1	12,141	0,642054575	15,030	1929
		2	11,816	0,926462073	10,292	1920
		3	12,695	2,101622772	11,071	1921
		4	13,569	6,710310966	1,831	1624
	Pastillas Semimetálicas	1	12,161	7,087248322	9,786	1913
		2	11,723	8,505611341	5,963	1934
		3	11,200	12,91680155	14,476	1932
		4	11,788	14,77109128	12,070	1934

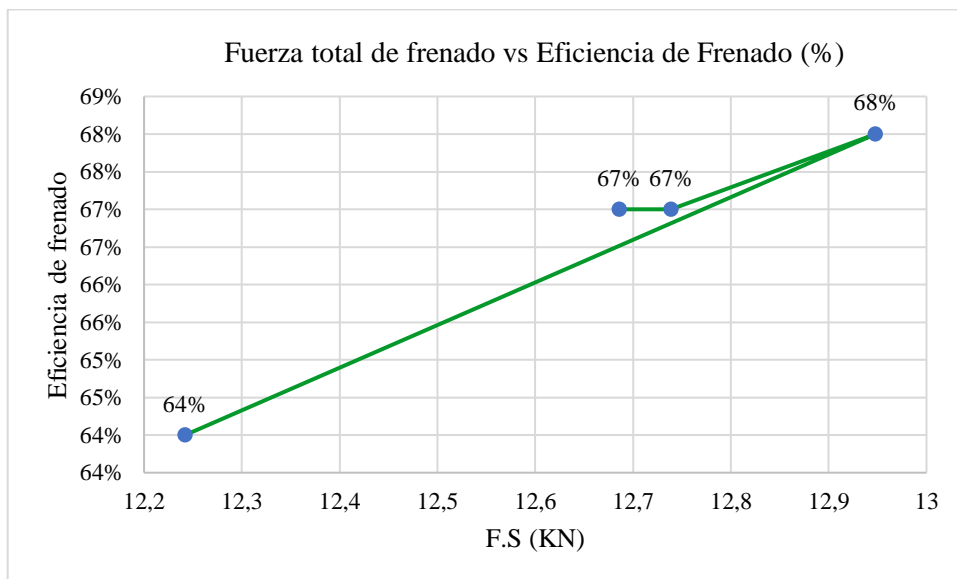
Realizado por: Arteaga & Heredia, 2021.

### 3.1.1.1. Resultados con pastillas de carbono

En el gráfico 1-3 se muestra el resultado de la eficiencia de frenado de las pastillas de carbono, luego de realizar las pruebas se registró los siguientes datos:

- En la primera prueba: Valores de fuerza total de frenado de 12.686 KN, con su respectiva eficiencia total del 67% incluyendo ambos ejes del vehículo se calcula usando la ecuación 1 del capítulo anterior,
- En la segunda prueba: Se muestran valores de eficiencia total del 67% y fuerza total de frenado de 12.739KN, se realizó la prueba girando la rueda en su propio eje sin movimiento lineal.
- Tercera prueba: Se indica los resultados de eficiencia total del 68% y fuerza total de frenado de 12.948KN, se realizó la prueba girando la rueda en su propio eje sin movimiento lineal.
- Cuarta prueba: Se expone el valor de eficiencia total del 64% y fuerza total de frenado de 12.242KN, se realizó la prueba girando la rueda en su propio eje sin movimiento lineal.

Se aprecia que existe un porcentaje mínimo del 64%, los demás valores mantienen un valor aproximado entre sí, en donde la mayor eficiencia de frenado en las pastillas de carbono del vehículo Toyota Hilux es del 68%.



**Gráfico 1-3:** Fuerza total de frenado vs eficiencia de frenado

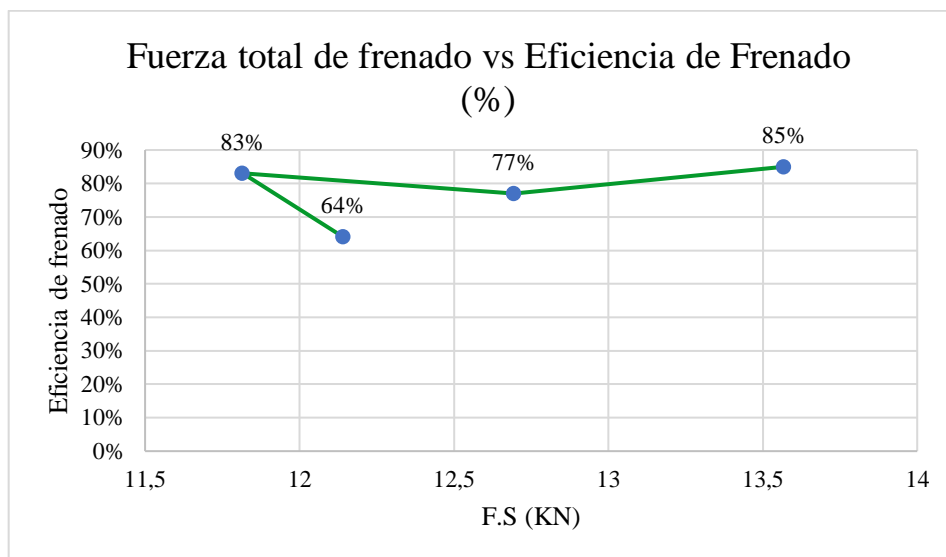
Realizado por: Arteaga & Heredia, 2021.

### 3.1.1.2. Resultados con pastillas de cerámica

En el gráfico 2-3 se muestra el resultado de la eficiencia de frenado de las pastillas de cerámica, luego de realizar las pruebas se registró los siguientes datos:

- En la primera prueba: Valores de fuerza total de frenado de 12.1.41 KN, con su respectiva eficiencia total del 64% incluyendo ambos ejes del vehículo se calcula usando la ecuación 1 del capítulo anterior,
- En la segunda prueba: Se aprecian valores de eficiencia total del 83% y fuerza total de frenado de 11.816KN, se realizó la prueba girando la rueda en su propio eje sin movimiento lineal.
- Tercera prueba: Se expone los valores de eficiencia total del 77% y fuerza total de frenado de 12.695KN, se realizó la prueba girando la rueda en su propio eje sin movimiento lineal.
- Cuarta prueba: Se muestran valores de eficiencia total del 85% y fuerza total de frenado de 13.569KN, se realizó la prueba girando la rueda en su propio eje sin movimiento lineal.

Se observa que existe un porcentaje mínimo del 64%, los demás valores mantienen un valor similar entre sí, en donde la mayor eficiencia de frenado en las pastillas de cerámica del vehículo Toyota Hilux es del 85%.



**Gráfico 2-3.** Fuerza total de frenado vs eficiencia de frenado (Cerámica)

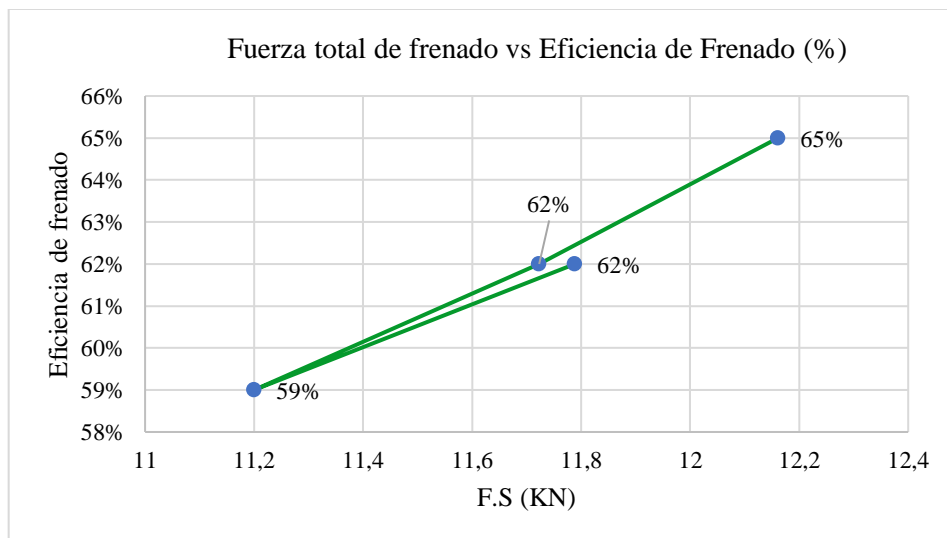
**Realizado por:** Arteaga & Heredia, 2021.

### 3.1.1.3. Resultados con pastillas semi metálicas

En el gráfico 3-3 se muestra el resultado de la eficiencia de frenado en las pastillas semi metálicas, luego de realizar las pruebas se registró los siguientes datos:

- En la primera prueba: Valores de fuerza total de frenado de 12.161 KN, con su respectiva eficiencia total del 65% incluyendo ambos ejes del vehículo se calcula usando la ecuación 1 del capítulo anterior,
- En la segunda prueba: Se indican valores de eficiencia total del 62% y fuerza total de frenado de 11.723KN, se realizó la prueba girando la rueda en su propio eje sin movimiento lineal.
- Tercera prueba: Se muestran valores de eficiencia total del 59% y fuerza total de frenado de 11.2 KN, se realizó la prueba girando la rueda en su propio eje sin movimiento lineal.
- Cuarta prueba: Se muestran valores de eficiencia total del 62% y fuerza total de frenado de 11.788 KN, se realizó la prueba girando la rueda en su propio eje sin movimiento lineal.

Se observa que existe un porcentaje mínimo del 59%, los demás valores mantienen un valor similar entre sí, en donde la mayor eficiencia de frenado en las pastillas semi metálicas del vehículo Toyota Hilux es del 65%.



**Gráfico 3-3:** Fuerza total de frenado vs eficiencia de frenado (semi metálicas)

**Realizado por:** Arteaga & Heredia, 2021.

### 3.1.2. Resultados en Aveo Family

Los resultados obtenidos mediante los equipos se realizó las gráficas analíticas y comparativa de los distintos materiales de las pastillas de freno, en las gráficas se muestra la eficiencia de frenado en comparación al número de pruebas efectuado por cada tipo de pastilla, los datos se obtienen en un movimiento estático sobre cada eje del vehículo, se realizaron 4 pruebas por tipo para verificar la exactitud de las muestras de datos y descartar error del software del equipo de medición. Los valores obtenidos en las cuatro pruebas se pueden apreciar en la tabla 2-3.



**Tabla 2-3:** Valores obtenidos del estudio de las pastillas en el vehículo Aveo family

		Pruebas	FRENOS			
			F.S(kN)	Desequilibrio eje delantero (%)	Desequilibrio eje Posterior (%)	Masa kg
<b>VEHÍCULO: AVEO FAMILY</b>	Pastillas de Carbono	1	8,026	4,012713548	7,530	1098
		2	7,912	5,400914001	9,888	1098
		3	7,754	0,67234424	13,585	890
		4	8,59	3,280461428	7,081	1100
	Pastillas de Cerámica	1	7,998	40,17496635	17,369	1104
		2	8,56	39,87897126	4,836	1095
		3	8,815	39,29339478	9,786	882
		4	7,835	40,1776563	6,911	1096
	Pastillas Semimetálicas	1	8,352	3,826648225	7,497	1103
		2	8,203	4,689165187	9,781	1104
		3	8,707	4,676539361	15,442	1107
		4	7,361	4,44955888	18,461	1109

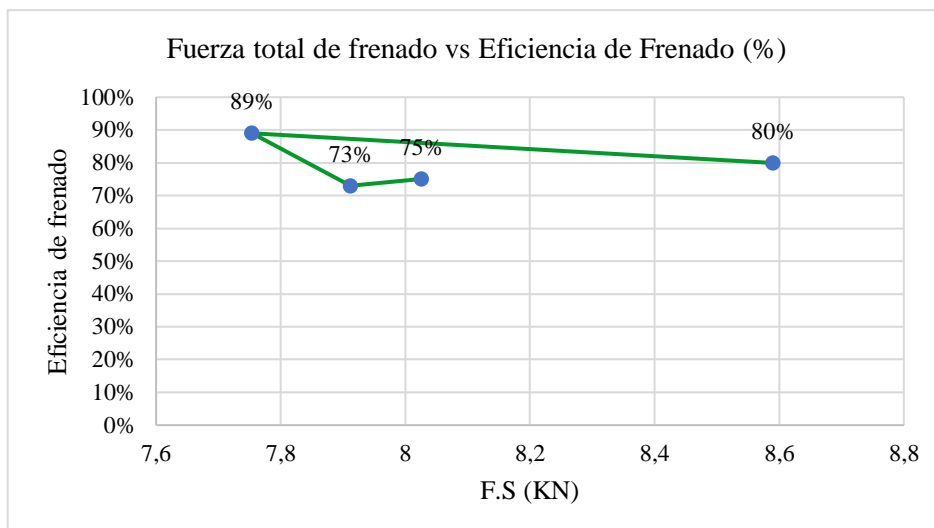
Realizado por: Arteaga & Heredia, 2021.

### 3.1.2.1. Resultados con pastillas de carbono

En el gráfico 4-3 se muestra el resultado de la eficiencia de frenado de las pastillas de carbono, luego de realizar las pruebas se registró los siguientes datos:

- En la primera prueba: Valores de fuerza total de frenado de 8.026 KN, con su respectiva eficiencia total del 75% incluyendo ambos ejes del vehículo se calcula usando la ecuación 1 del capítulo anterior,
- En la segunda prueba: Se muestran valores de eficiencia total del 73% y fuerza total de frenado de 7.912 KN, se realizó la prueba girando la rueda en su propio eje sin movimiento lineal.
- Tercera prueba: Se muestran valores de eficiencia total del 89% y fuerza total de frenado de 7.754 KN, se realizó la prueba girando la rueda en su propio eje sin movimiento lineal.
- Cuarta prueba: Se muestran valores de eficiencia total del 80% y fuerza total de frenado de 8.590 KN, se realizó la prueba girando la rueda en su propio eje sin movimiento lineal.

Se observa que existe un porcentaje mínimo del 73%, los demás valores mantienen un valor aproximado entre sí, en donde la mayor eficiencia de frenado en las pastillas de carbono del vehículo Aveo Family es del 89%.



**Gráfico 4-3:** Fuerza total de frenado vs eficiencia de frenado

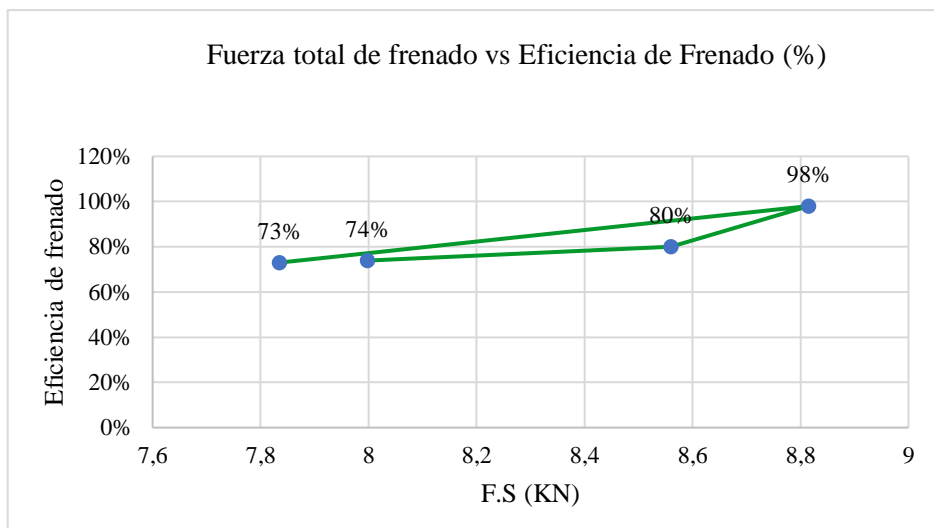
Realizado por: Arteaga & Heredia, 2021.

### 3.1.2.2. Resultados con pastillas de cerámica

En el gráfico 5-3 se muestra el resultado de la eficiencia de frenado de las pastillas de cerámica, luego de realizar las pruebas se registró los siguientes datos:

- En la primera prueba: Valores de fuerza total de frenado de 7.998 KN, con su respectiva eficiencia total del 74% incluyendo ambos ejes del vehículo se calcula usando la ecuación 1 del capítulo anterior,
- En la segunda prueba: Se aprecia el porcentaje de eficiencia total del 80% y fuerza total de frenado de 8.560 KN, se realizó la prueba girando la rueda en su propio eje sin movimiento lineal.
- Tercera prueba: Se observa datos de eficiencia total del 98% y fuerza total de frenado de 8.815 KN, se realizó la prueba girando la rueda en su propio eje sin movimiento lineal.
- Cuarta prueba: Se muestran valores de eficiencia total del 73% y fuerza total de frenado de 7.835 KN, se realizó la prueba girando la rueda en su propio eje sin movimiento lineal.

Se observa que existe un porcentaje mínimo del 73%, los demás valores mantienen un valor similar entre sí, en donde la mayor eficiencia de frenado en las pastillas de cerámica del vehículo Aveo Family es del 98%.



**Gráfico 5-3:** Fuerza total de frenado vs eficiencia de frenado (Cerámica)

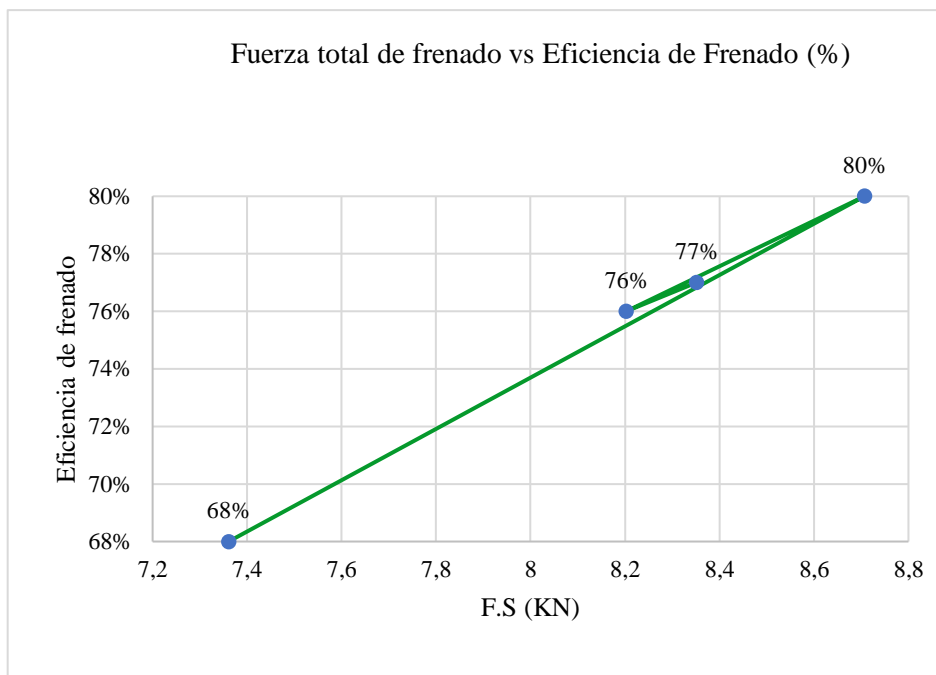
**Realizado por:** Arteaga & Heredia, 2021.

### 3.1.2.3. Resultados con pastillas semi metálicas

En el gráfico 6-3 se muestra el resultado de la eficiencia de frenado en las pastillas semi metálicas, luego de realizar las pruebas se registró los siguientes datos:

- En la primera prueba: Valores de fuerza total de frenado de 8.352 KN, con su respectiva eficiencia total del 77% incluyendo ambos ejes del vehículo se calcula usando la ecuación 1 del capítulo anterior,
- En la segunda prueba: Se indican valores de eficiencia total del 76% y fuerza total de frenado de 8.203 KN, se realizó la prueba girando la rueda en su propio eje sin movimiento lineal.
- Tercera prueba: Se aprecian valores de eficiencia total del 80% y fuerza total de frenado de 8.707 KN, se realizó la prueba girando la rueda en su propio eje sin movimiento lineal.
- Cuarta prueba: Se muestran valores de eficiencia total del 68% y fuerza total de frenado de 7.361 KN, se realizó la prueba girando la rueda en su propio eje sin movimiento lineal.

Se observa que existe un porcentaje mínimo del 68%, los demás valores mantienen un valor similar entre sí, en donde la mayor eficiencia de frenado en las pastillas semi metálicas del vehículo Aveo Family es del 80%.



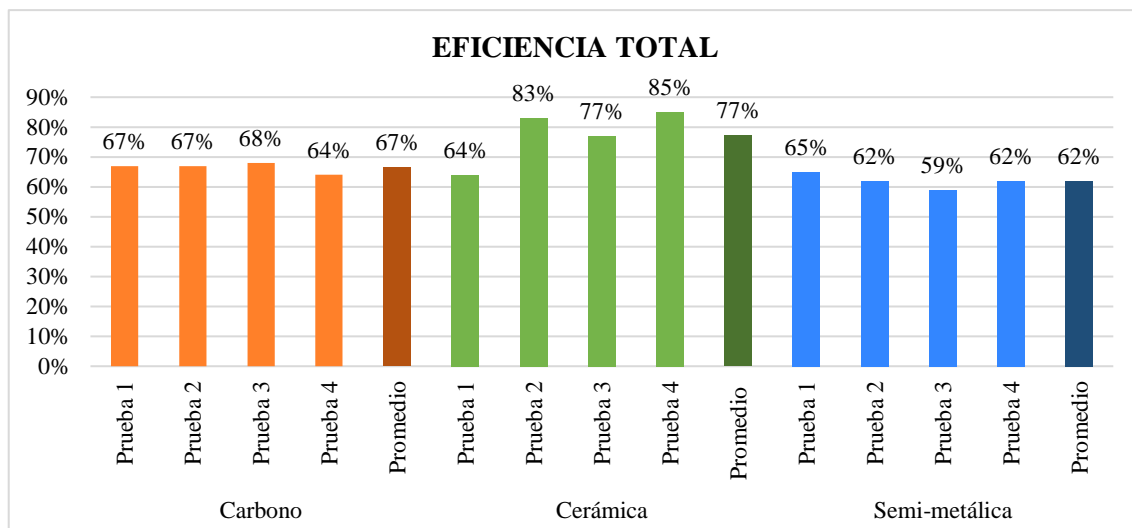
**Gráfico 6-3:** Fuerza total de frenado vs eficiencia de frenado (semi metálicas)

Realizado por: Arteaga & Heredia, 2021.

### 3.1.3. Eficiencia de frenado en el vehículo Toyota Hilux

Conforme con las 4 pruebas realizadas por tipo de pastillas se puede comprobar que el mejor tipo de pastillas de frenos para la camioneta Toyota Hilux son las pastillas de cerámica, como se puede observar en la gráfica 7-3 las pastillas cerámicas tienen un promedio de eficiencia del 77 %, seguidas de las pastillas de carbono con un promedio del 67% y finalizando con las pastillas semimetálicas que fueron las menos exitosas con un promedio de eficiencia del 62%. También se pudo observar que los porcentajes de eficiencia cambian de acuerdo al tipo de pastillas, teniendo así que las pastillas de carbono y las pastillas semimetálicas se mantienen con un margen estable en comparación a las pastillas cerámicas.

Con un margen del 4% en las pastillas de carbono, esto debido a que se obtuvo un máximo y mínimo de eficiencia del 68% a 64% respectivamente, en las pastillas semimetálicas se estimó una eficiencia de frenado máxima y mínima del 65% al 59% consiguiendo un margen del 6%, el cual en comparación a las pastillas de carbono excede en un 2%. Por último, tenemos a las pastillas cerámicas las cuales tienen un margen mayor a los dos tipos de pastillas anteriormente mencionadas, en este tipo de pastillas se pudo analizar que su margen fue del 21 % esto debido a que en su primera prueba se obtuvo una eficiencia de frenado del 64% siendo esta la menor de las eficiencias en este juego de pastillas, y obteniendo un máximo de eficiencia de frenado del 85% el cual en comparación a la primera prueba cambia drásticamente.



**Gráfico 7-3:** Eficiencia total de frenado en el Toyota Hilux

Realizado por: Arteaga & Heredia, 2021.

### 3.1.3.1. Fuerza de frenado en el eje delantero

De acuerdo con los resultados obtenidos en el frenómetro se pudo analizar la fuerza de frenado en el eje delantero, el cual esta subdividido en la fuerza del lado izquierdo y la fuerza del lado derecho, dichas fuerzas son de suma importancia para el buen frenado del vehículo debido a que si estas fuerzas no son parejas es muy probable que el vehículo tenga un frenado brusco o en el peor de los casos provocar la colisión o vuelco del vehículo. Los valores obtenidos en las 4 pruebas realizadas por tipo de pastillas se las puede apreciar en la tabla 3-3, para una mejor apreciación se realizó un diagrama de barras en la gráfica 8-3.

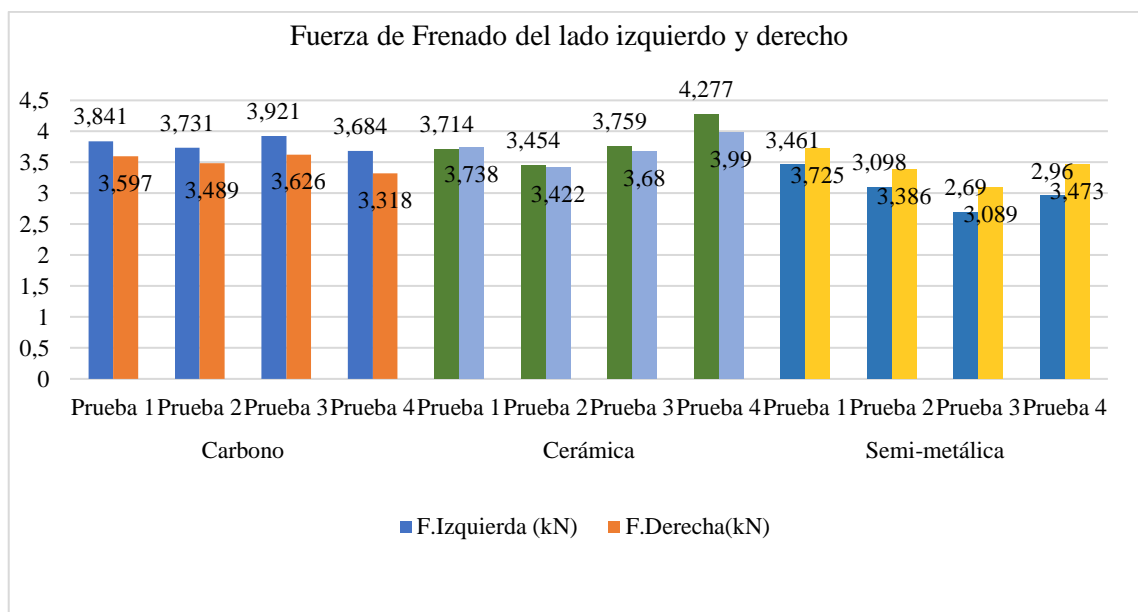
**Tabla 3-3:** Resultados fuerzas de frenado Toyota Hilux

Toyota Hilux	Pastilla	Parámetro	Fuerza Izquierda (kN)	Fuerza Derecha(kN)
	Carbono	Prueba 1		3,841
Prueba 2			3,731	3,489
Prueba 3			3,921	3,626
Prueba 4			3,684	3,318
Cerámica	Prueba 1		3,714	3,738
	Prueba 2		3,454	3,422
	Prueba 3		3,759	3,68
	Prueba 4		4,277	3,99
Semimetálica	Prueba 1		3,461	3,725
	Prueba 2		3,098	3,386
	Prueba 3		2,69	3,089
	Prueba 4		2,96	3,473

Realizado por: Arteaga & Heredia, 2021.

Analizando la gráfica 8-3 se obtuvo los siguientes resultados:

- En las 4 pruebas realizadas en las pastillas de carbono se observó una mayor fuerza de frenado en el lado izquierdo, eso sí, sin ser muy notable comparada a la fuerza de frenado del lado derecho, de acuerdo con estos valores se deduce que el vehículo al rato del frenado tendrá un poco de derrape al dalo izquierdo, por lo tanto, se tendría que hacer una alineación para tener un frenado más confortable.
- En las pastillas cerámicas se pudo verificar de acuerdo con la gráfica 8-3 que las dos fuerzas de frenado son muy similares teniendo así un frenado agradable, sin embargo, en la última prueba se tuvo una mayor fuerza de frenado en el lado izquierdo, debido muchas veces a que las cañerías de freno presentan partículas de aire, por lo tanto, se tendría que hacer una purga del sistema.
- Conforme a las pruebas realizadas con las pastillas semimetálicas se constató la similitud con las pastillas de carbono, esto debido a que las fuerzas de frenado en los dos lados cambian drásticamente, pero en el caso de estas pastillas se tuvo una mayor fuerza de frenado en el lado derecho por ende el freno tendrá a derrapar a dicho lado.



**Gráfico 8-3:** Fuerza de Frenado del lado izquierdo y derecho

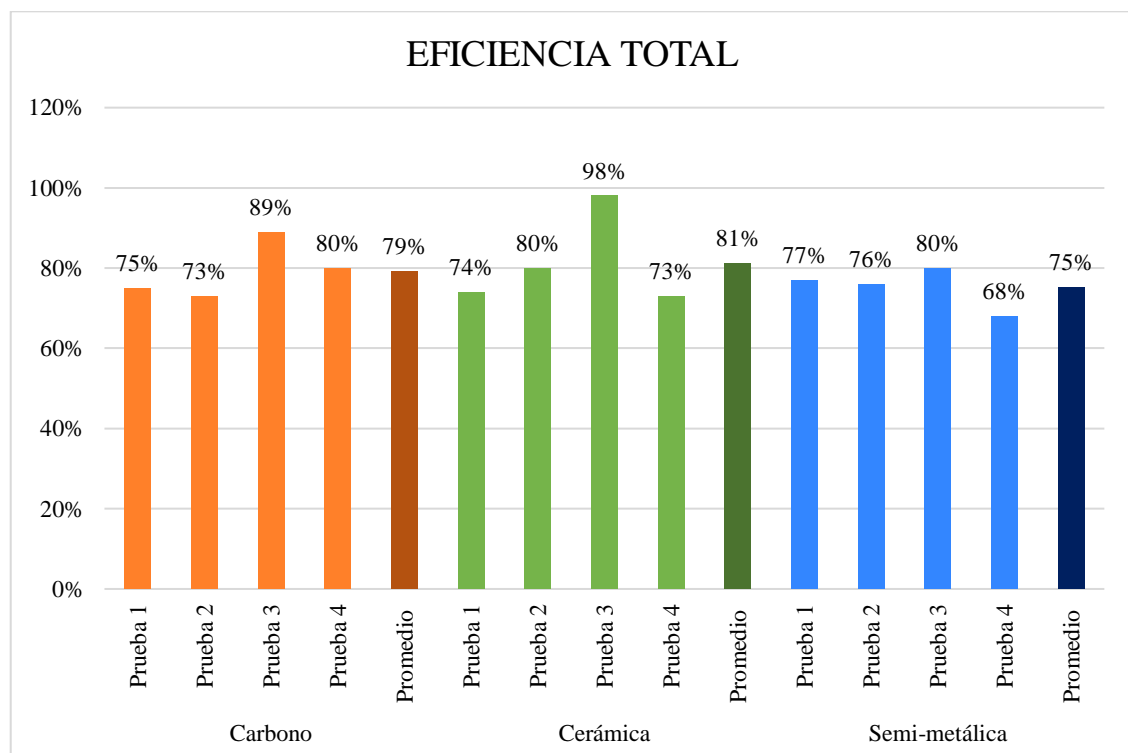
Realizado por: Arteaga & Heredia, 2021.

### 3.1.4. Eficiencia de frenado en el vehículo Aveo Family

Acorde con la realización de las 4 pruebas de eficiencia de frenado en cada uno de los juegos de pastillas analizadas, se observó que los promedios de eficiencia de frenado en los 3 tipos de pastillas son muy semejantes, poseyendo así una eficiencia total de frenado en las pastillas de

cerámica del 81%, seguida de las pastillas de carbono con un porcentaje de eficiencia de 79% y, por último, pero con un margen admisible las pastillas semimetálicas con un porcentaje del 75%. Comparadas con las pruebas en el primer vehículo en la cual el margen era del 10% entre el mejor tipo de pastillas y su antecesor, en cambio en el Aveo Family se tuvo un margen del 2% del mejor tipo de pastilla a su antecesor, y analizando con el ultimo tipo de pastillas se obtuvo un margen igual al 6% el cual es menor al porcentaje del primer y segundo juego de las pastillas del vehículo anterior. En dicho caso el propietario podría escoger cualquier de los 3 tipos de juegos de pastillas, teniendo en cuenta su precio y su durabilidad.

También se pudo observar que los porcentajes de eficiencia cambian de acuerdo al tipo de pastillas, se encontró un margen del 12% en las pastillas de semimetálicas siendo estas las más regulares en el vehículo Aveo Family, esto debido a que se obtuvo un máximo y mínimo de eficiencia del 80% a 68% respectivamente, seguida de las pastillas de carbono las cuales tienen una eficiencia de frenado máxima y mínima del 89% al 73% consiguiendo un margen del 16%, el cual en comparación a las pastillas semimetálicas excede en un 4%. Por último, tenemos a las pastillas cerámicas las cuales tiene un margen mayor a los dos tipos de pastillas anteriormente mencionadas, en este tipo de pastillas se pudo analizar que su margen fue del 25% esto debido a que en su tercera prueba se obtuvo una eficiencia de frenado del 73% siendo esta la menor de las eficiencias en este juego de pastillas, y obteniendo un máximo de eficiencia de frenado del 98% el cual en comparación a la primera prueba cambia drásticamente.



**Gráfico 9-3:** Eficiencia total de frenado en el Aveo Family

Realizado por: Arteaga & Heredia, 2021.

### 3.1.4.1. Fuerza de frenado en el eje delantero

De acuerdo con los resultados obtenidos en el banco de prueba se pudo apreciar la fuerza de frenado en el eje delantero, el cual está dividido en la fuerza del lado izquierdo y la fuerza del lado derecho, dichas fuerzas son de suma importancia para el buen frenado del vehículo debido a que si estas fuerzas no son parejas es muy probable que el vehículo tenga un frenado brusco o en el peor de los casos provocar la colisión o vuelco del vehículo. Los valores obtenidos en las 4 pruebas realizadas por tipo de pastillas se las puede apreciar en la tabla 4-3, para una mejor apreciación se realizó un diagrama de barras en la gráfica 10-3.

**Tabla 4-3:** Resultados fuerzas de frenado Toyota Hilux

	Pastilla	Parámetro	Fuerza Izquierda (kN)	Fuerza Derecha(kN)
	<b>Aveo Family</b>	<b>Carbono</b>	Prueba 1	2,517
Prueba 2			2,407	2,277
Prueba 3			2,231	2,216
Prueba 4			2,774	2,683
<b>Cerámica</b>		Prueba 1	2,972	1,778
		Prueba 2	3,305	1,987
		Prueba 3	3,255	1,976
		Prueba 4	2,927	1,751
<b>Semimetálica</b>		Prueba 1	2,086	2,169
		Prueba 2	2,683	2,815
		Prueba 3	2,446	2,566
		Prueba 4	2,491	2,607

Realizado por: Arteaga & Heredia, 2021.

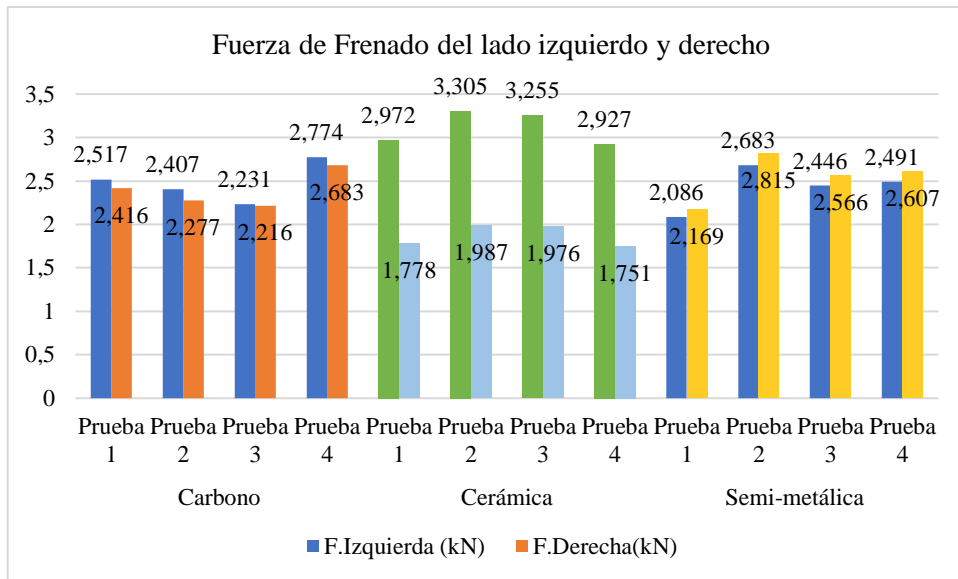
Analizando la gráfica 10-3 se obtuvo los siguientes resultados:

- En las 4 pruebas realizadas en las pastillas de carbono se observó una mayor fuerza de frenado en el lado izquierdo, eso sí, sin ser muy notable comparada a la fuerza de frenado del lado derecho, de acuerdo con estos valores se deduce que el vehículo al rato del frenado tendrá un poco de derrape al dalo izquierdo, por lo tanto, se tendría que hacer una alineación para tener un frenado más confortable.
- En las pastillas cerámicas se pudo verificar de acuerdo con la gráfica 8-3 que las dos fuerzas de frenado son muy similares teniendo así un frenado agradable, sin embargo, en la última



prueba se tuvo una mayor fuerza de frenado en el lado izquierdo, debido muchas veces a que las cañerías de freno presentan partículas de aire, por lo tanto, se tendría que hacer una purga del sistema.

- En base a ensayos realizados con las pastillas semimetálicas se comprobó la similitud con las pastillas de carbono, esto debido a que las fuerzas de frenado en los dos lados cambian drásticamente, pero en el caso de estas pastillas se tuvo una mayor fuerza de frenado en el lado derecho por ende el freno tendrá a derrapar a dicho lado.



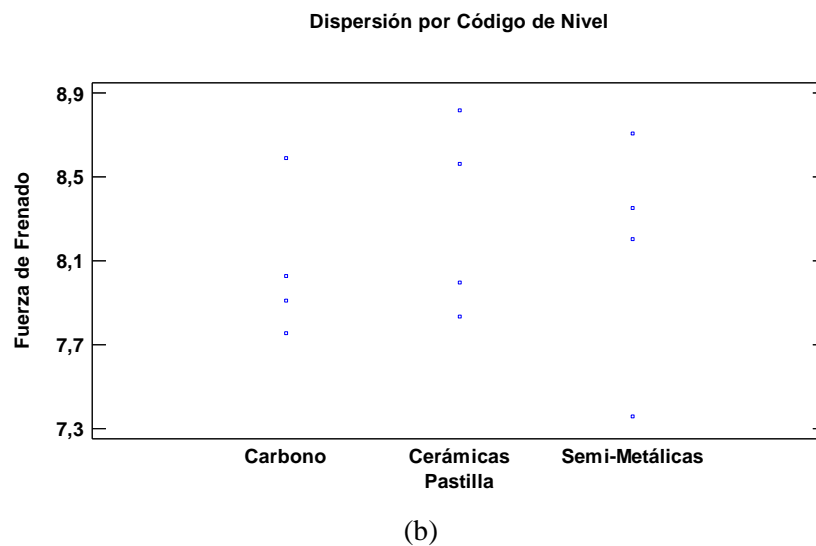
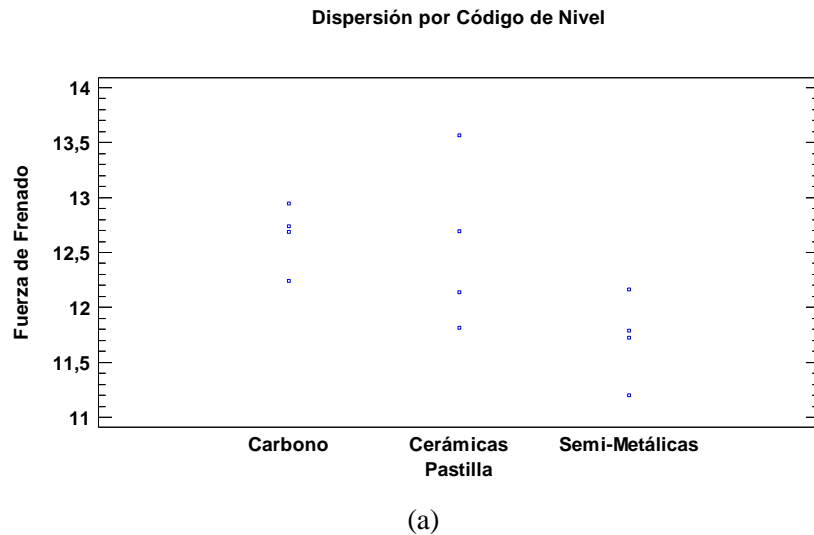
**Gráfico 10-3:** Fuerza de Frenado del lado izquierdo y derecho

Realizado por: Arteaga & Heredia, 2021.

### 3.2. Análisis y discusión de resultados

Para los resultados obtenidos en el comportamiento de las pastillas de freno se comprueba que las pastillas de freno tienen características distintivas entre los distintos materiales usados en su construcción no solo en las gráficas de fuerza total de frenado-eficiencia de frenado que se analizan, sino también en los factores del desequilibrio de los ejes delanteros y posteriores.

Para verificar el correcto muestreo de datos se ha comprobado la dispersión de los datos que existe para los datos para ambos vehículos estudiados, en la figura 1-3(a) se muestra la dispersión de los valores de la fuerza total de frenado en el vehículo Hilux con respecto a los distintos tipos de pastilla, en la figura 1-3(b) se muestra la dispersión de los valores de la fuerza total de frenado en el vehículo Aveo con respecto a los distintos tipos de pastilla.



**Gráfico 11-3:** Diagrama de dispersión de los datos fuerza total de frenado

Realizado por: Arteaga & Heredia, 2021.

En las gráficas observadas se puede apreciar que no existe valores extensamente dispersos, en el caso del vehículo Hilux su valor máximo es de 13,569 y su valor mínimo 11,200 y en el vehículo Aveo su valor máximo es de 8,815y su valor mínimo 7,361.

### 3.2.1. *Análisis bajo la norma NTE INEN 2185*

Para evaluar las pastillas de freno en el frenómetro de rodillos se debe tomar en cuenta la carga mínima de absorción de los rodillos en vehículos livianos de 3000 Kg, para así asegurar la correcta toma de datos de la fuerza total de frenado del vehículo. Se debe tomar en cuenta también la longitud, el ancho y el espesor de las pastillas de prueba para realizar las pruebas de estudio.

### 3.2.1.1. Pruebas en el vehículo Hilux.

En la tabla 5-3 se muestra el promedio de la fuerza total de frenado del vehículo Hilux.

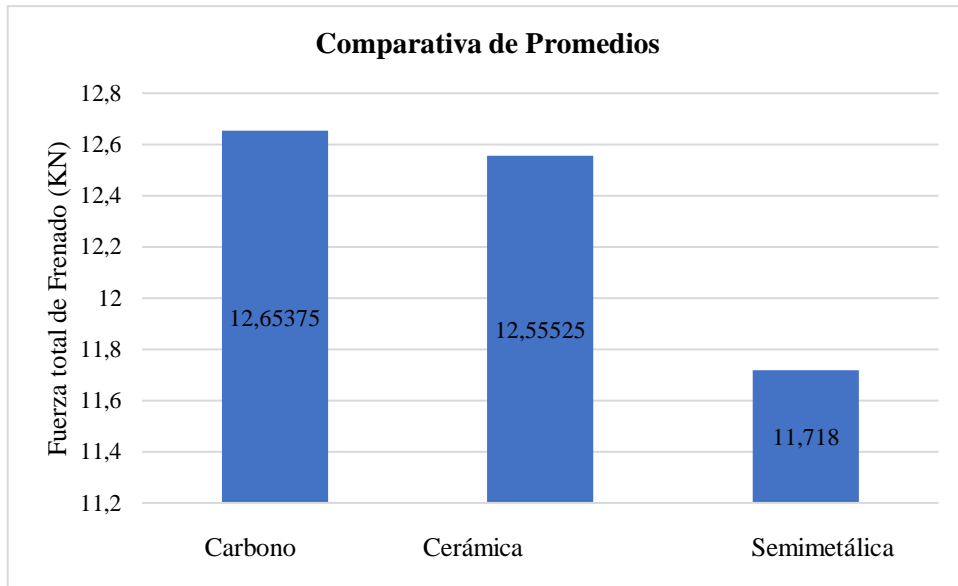
**Tabla 5-3:** Fuerza total promedio de frenado

<b>Pastilla</b>	<b>Parámetro</b>	<b>Fuerza total de Frenado (KN)</b>
<b>Carbono</b>	Prueba 1	12,686
	Prueba 2	12,739
	Prueba 3	12,948
	Prueba 4	12,242
	<b>Promedio</b>	<b>12,65375</b>
<b>Cerámica</b>	Prueba 1	12,141
	Prueba 2	11,816
	Prueba 3	12,695
	Prueba 4	13,569
	<b>Promedio</b>	<b>12,55525</b>
<b>Semimetálica</b>	Prueba 1	12,161
	Prueba 2	11,723
	Prueba 3	11,200
	Prueba 4	11,788
	<b>Promedio</b>	<b>11,718</b>

**Realizado por:** Arteaga & Heredia, 2021.

Las pastillas de carbono fueron expuestas a 4 pruebas en las cuales se determinó la fuerza total de frenado con un valor promedio de 12,653 KN, este valor es una variable muy importante y directamente proporcional para el cálculo de la eficacia de frenado, es decir a mayor fuerza de frenado mayor eficacia de frenado.

Las pastillas de cerámica fueron expuestas a cuatro pruebas en las cuales se determinó la fuerza total de frenado con un valor promedio de 12,555 KN, para las pastillas semimetálicas se realizó las cuatro pruebas igualmente obteniendo un valor promedio de fuerza total de frenado de 11,718 KN. Los promedios se muestran en la gráfica 9-3.



**Gráfico 12-3:** Comparación de promedios de la fuerza total de frenado

Realizado por: Arteaga & Heredia, 2021.

### 3.2.1.2. Pruebas en el vehículo Aveo

En la tabla 6-3 se muestra el promedio de la fuerza total de frenado del vehículo Aveo.

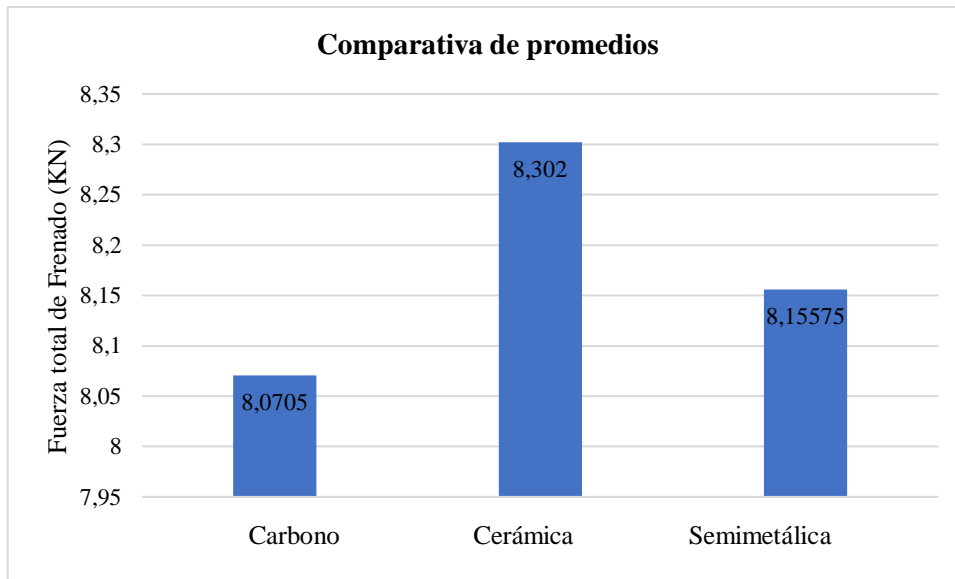
**Tabla 6-3:** Fuerza total promedio de frenado

Pastilla	Parámetro	Fuerza total de Frenado (KN)
<b>Carbono</b>	Prueba 1	8,026
	Prueba 2	7,912
	Prueba 3	7,754
	Prueba 4	8,59
	<b>Promedio</b>	<b>8,0705</b>
<b>Cerámica</b>	Prueba 1	7,998
	Prueba 2	8,56
	Prueba 3	8,815
	Prueba 4	7,835
	<b>Promedio</b>	<b>8,302</b>
<b>Semimetálica</b>	Prueba 1	8,352
	Prueba 2	8,203
	Prueba 3	8,707
	Prueba 4	7,361
	<b>Promedio</b>	<b>8,15575</b>

Realizado por: Arteaga & Heredia, 2021.

Las pastillas de carbono fueron expuestas a 4 pruebas en las cuales se determinó la fuerza total de frenado con un valor promedio de 8,0705 KN, este valor es una variable muy importante y directamente proporcional para el cálculo de la eficacia de frenado, es decir a mayor fuerza de frenado mayor eficacia de frenado.

Las pastillas de cerámica fueron expuestas a cuatro pruebas en las cuales se determinó la fuerza total de frenado con un valor promedio de 8,302 KN, para las pastillas semimetálicas se realizó las cuatro pruebas igualmente obteniendo un valor promedio de fuerza total de frenado de 8,156 KN. Los promedios se muestran en la gráfica 12-3.



**Gráfico 13-3:** Comparación de promedios de la fuerza total de frenado

**Realizado por:** Arteaga & Heredia, 2021.

Según (Antamba, Granja y Orozco, 2018, pp. 435-436), “ el aumento de carga, reduce la eficiencia de frenado, como la desaceleración del vehículo al momento de aplicar los frenos en el vehículo, este efecto se da por el cambio de la distribución de pesos en los ejes y la variación de la posición del centro de gravedad”, este análisis se puede observar en el gráfico 11-3 en donde se presenta un mayor promedio de fuerza de frenado en las pastillas de carbono del vehículo Hilux, pero debido a la masa calculada por el equipo de diagnóstico la eficacia de frenado es mayor en las pastillas cerámicas, esto debido al aumento de masa.

La tabla 7-3 muestra el cumplimiento de la norma NTE INEN 2185 con respecto a las tolerancias para las dimensiones de los materiales de fricción.

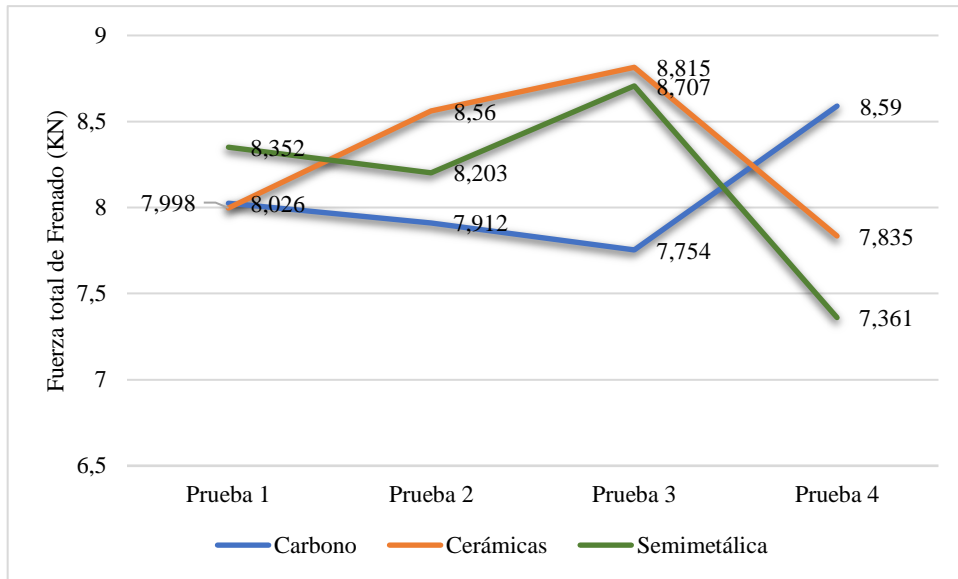
**Tabla 7-3:** Análisis de tolerancias para las dimensiones de los materiales de fricción

<b>Requisito</b>	<b>Pastilla</b>	<b>Cumplimiento de los requisitos</b>
<b>Longitud</b>	$\pm 3,2; 0$	Sí
<b>Ancho</b>	0,0 – 0,8	Sí
<b>Espesor</b>	0,0 – 0,5	Sí

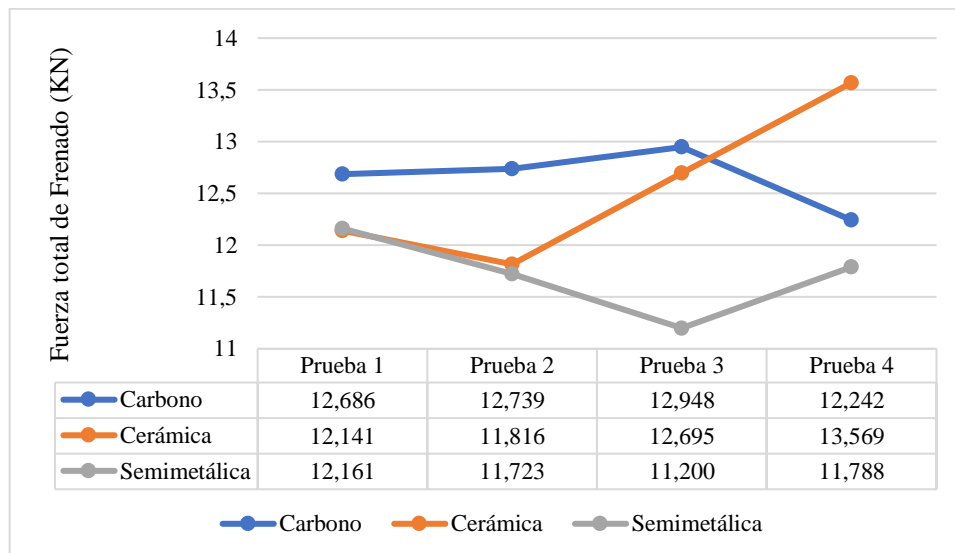
**Realizado por:** Arteaga & Heredia, 2021.

En el gráfico 13-3 (a) se compara las gráficas obtenidas de las 4 pruebas en el vehículo Aveo, se observa una semejanza en la tendencia de las pastillas cerámicas y las semimetálicas con respecto a la fuerza de frenado total, también se observa que las pastillas de carbono no tienen la misma tendencia de las gráficas mencionadas, mantiene valores de fuerza de frenado menor a las demás pastillas. En la figura 13-3 (b) se compara las gráficas con respecto a las cuatro pruebas del vehículo Toyota Hilux, se observa que existe mayor similitud en las gráficas con respecto al vehículo antes estudiado, en la prueba uno y dos existe una magnitud similar de datos.

A diferencia del estudio realizado por (Paredes, 2021), las pruebas realizadas por pastillas recomendadas por el fabricante y alternativas se presentó resultados de eficacia de frenado con un promedio de 73,385% para las pastillas recomendadas por el fabricante y un promedio de 71,278% de eficacia de frenado en las pastillas de freno alternas.



(a)



(b)

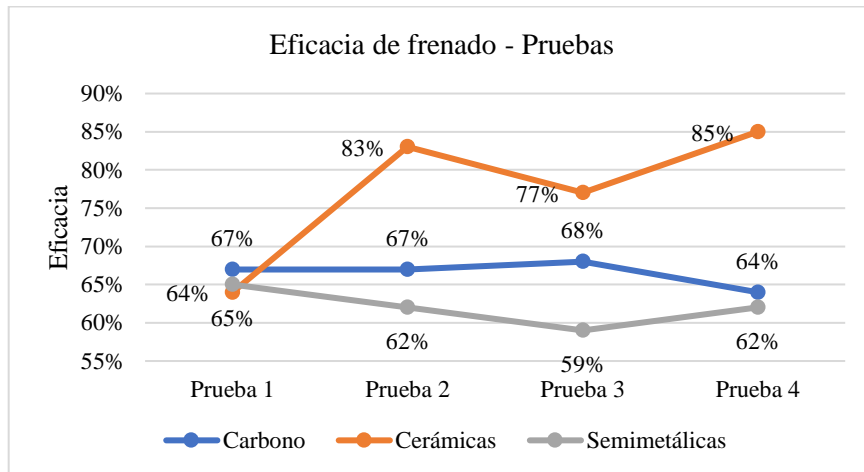
**Gráfico 14-3:** Comparación de las fuerzas de frenado en las pastillas de carbono, cerámica y semimetálica

Realizado por: Heredia & Arteaga, 2021.

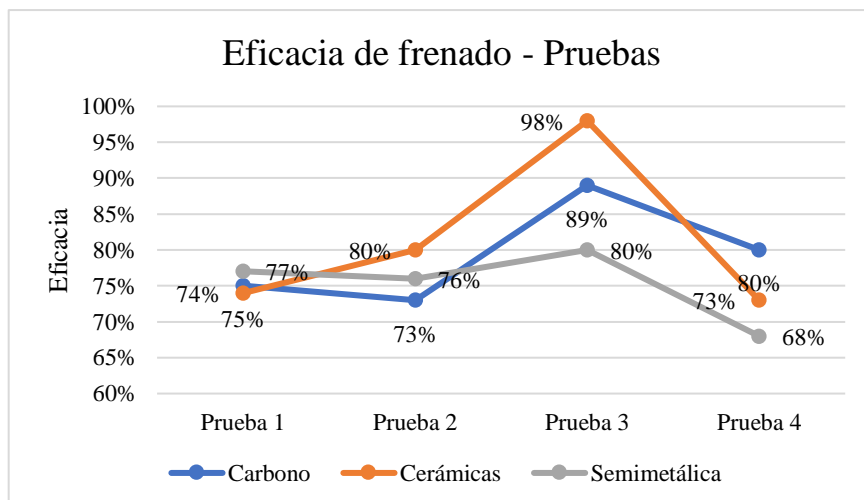
En los gráficos 8-3 y 10-3 se realizó una comparación de las fuerzas de frenado de cada lado de los ejes del vehículo en donde se constata que las pastillas cerámicas tienen mayor fuerza de frenado y menos desfase de resultados en cada lado del eje. En comparación con el estudio realizado por (Velastegui, 2015), señala un valor superior de fuerza de frenado en las pastillas semimetálicas esto debido a que en el proceso de fabricación se añadió un mayor porcentaje de elementos químico u orgánicos, que permiten un mayor coeficiente de fricción.

**3.2.2. Comparación de las pastillas de freno en: eficacia de frenado – Tipos de pastillas, análisis ANOVA, LSD y de cajas y bigotes.**

En el gráfico 14-3 se visualiza una comparación de la eficacia de frenado que corresponden al número de pruebas que se realizó para el análisis de datos, de esta manera se compara la eficacia del vehículo Toyota Hilux grafico 12-3 (a), mediante el gráfico se puede constatar que la pastilla de mayor eficiencia es la cerámica con una eficacia del 85%, se comprueba que el material del cual este fabricado las pastillas de freno intervienen directamente a la mejora del sistema de frenos brindando mayor adherencia entre discos de freno y pastillas de freno. El gráfico 14-3 (b) corresponde al vehículo Aveo en donde presenta una clara similitud entre las 3 pastillas, viéndose afectado el valor de eficacia de frenado en un reducido porcentaje, pero las de mayor eficacia de frenado son las pastillas cerámicas con un porcentaje máximo del 98%.



(a)



(b)

**Gráfico 15-3:** Comparación de la eficacia de frenado en las pastillas de freno: carbono, cerámica y semimetálica.

Realizado por: Heredia & Arteaga, 2021.



Para la ejecución del análisis ANOVA, LSD y de cajas y bigotes se debe dividir para los tipos de vehículos, tanto para el Toyota Hilux y Chevrolet Aveo.

### 3.2.2.1. Análisis del vehículo Chevrolet Aveo

La eficacia de frenado de las distintas pastillas de freno para este vehículo no tiene una diferencia significativa, este análisis se deduce mediante el siguiente planteamiento.

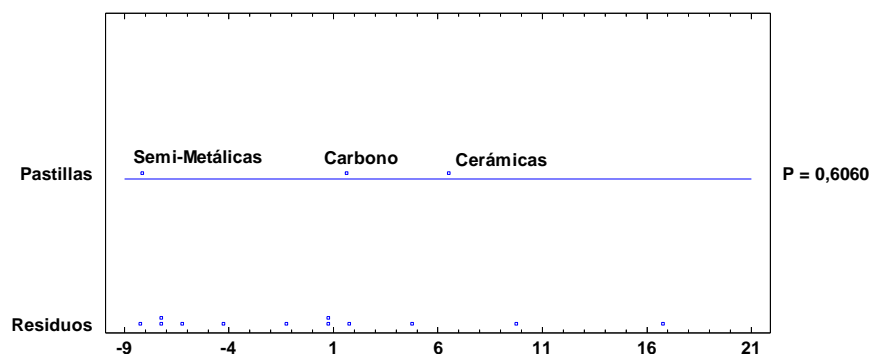
- *Hipótesis nula:* Las eficiencias de frenado de las distintas pastillas de freno estudiadas son similares.
- *Hipótesis alterna:* Al menos una de las pastillas de freno tiene una eficiencia significativamente distinta.
- *Nivel de significancia:* Es  $\alpha = 0.05$

Con la ayuda del software STATGRAPHIC se realiza el análisis ANOVA representado en tabla 8-3, y mediante los resultados se acepta una de las hipótesis planteadas. La tabla ANOVA descompone la varianza de eficacia de frenado en dos componentes: un componente entre grupos y un componente intragrupo. La razón-F, que en este caso es igual a 0,52976, es el cociente entre el estimado entre grupos y el estimado intragrupo. Puesto que el valor-P de la razón-F es mayor o igual que 0,05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de eficacia de frenado entre un nivel de pastillas y otro, con un nivel del 95,0% de confianza, por lo tanto, se acepta la hipótesis nula.

**Tabla 8-3:** ANOVA para Eficacia de frenado (%) por Pastillas (AVEO)

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	74,6667	2	37,3333	0,53	0,6060
Intra grupos	634,25	9	70,4722		
Total (Corr.)	708,917	11			

Fuente: Heredia & Arteaga, 2021.



**Gráfico 16-3:** Análisis gráfico de ANOVA eficiencia de frenado (AVEO)

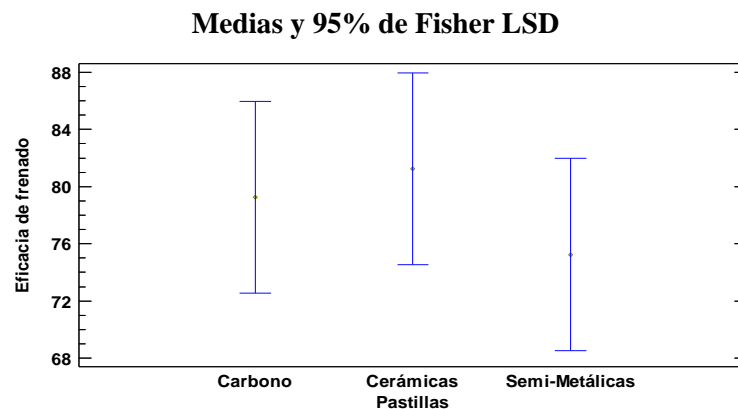
Realizado por: Heredia & Arteaga, 2021.

En la tabla 9-3 aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. No hay diferencias estadísticamente significativas con un nivel del 95,0% de confianza. Se ha identificado un grupo homogéneo, según la alineación de las X's en columna. El método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. Con este método hay un riesgo del 5,0% al decir que cada par de medias es significativamente diferente, cuando la diferencia real es igual a 0.

**Tabla 9-3:** Método: 95,0 porcentaje LSD (AVEO)

Pastillas	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Semi-Metálicas	4	75,25	X
Carbono	4	79,25	X
Cerámicas	4	81,25	X

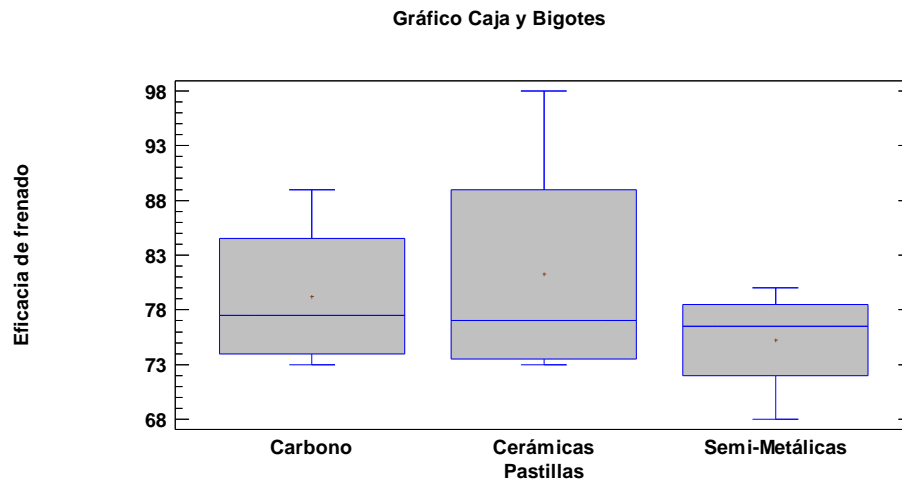
Fuente: Heredia & Arteaga, 2021.



**Gráfico 17-3:** Análisis de gráfico LSD (AVEO)

Realizado por: Heredia D.; Arteaga J. 2021.

El gráfico muestra un análisis de cajas y bigotes donde podemos verificar la comparación de medias de la eficacia de frenado en los distintos tipos de pastillas de freno. En las pastillas de freno de carbono se muestra una mediana de la eficacia de frenado de 77,50% y una eficacia mínima y máxima de 73% y 81% respectivamente. Para las pastillas de cerámica muestra un valor de mediana de 77% con valores mínimos y máximos de 73% y 81% respectivamente. Finalmente, las pastillas semimetálicas muestran un valor de mediana de 76,50% de eficacia de frenado con valores mínimos y máximos 68% y 80% respectivamente.



**Gráfico 18-3:** Análisis de gráfico de cajas y bigotes (AVEO)

Realizado por: Heredia & Arteaga, 2021.

### 3.2.2.2. Análisis del vehículo Toyota Hilux

Las eficacias de frenado en las distintas pastillas de freno para este vehículo tienen una diferencia significativa, este análisis se deduce mediante el siguiente planteamiento.

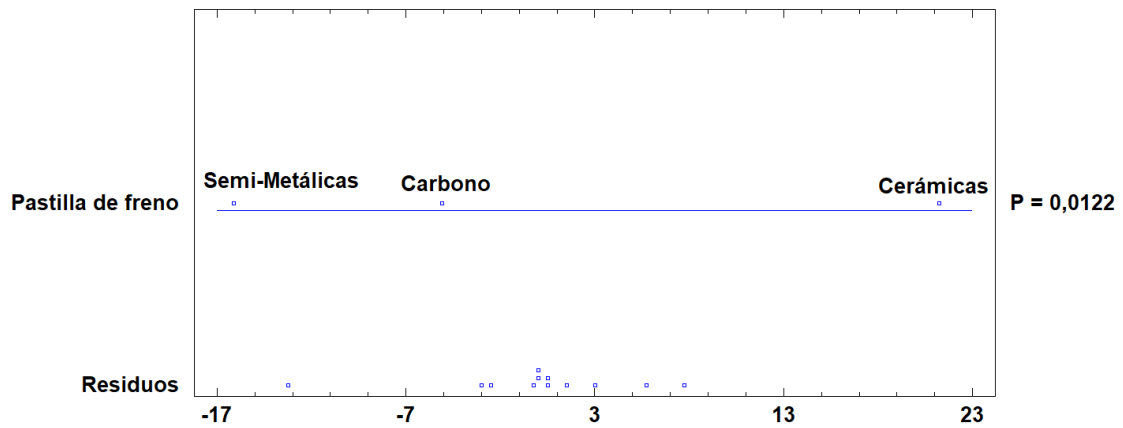
- *Hipótesis nula:* Las eficiencias de frenado de las distintas pastillas de freno estudiadas son similares.
- *Hipótesis alterna:* Al menos una de las pastillas de freno tiene una eficacia significativamente distinta.
- *Nivel de significancia:* Es  $\alpha = 0.05$

Mediante el software STATGRAPHIC se realiza el análisis ANOVA representado en tabla 10-3, y mediante los resultados se acepta una de las hipótesis planteadas. La tabla ANOVA subdivide la varianza de Eficacia de frenado en dos componentes: el componente intergrupar y un componente dentro de grupos. La coeficiente-F, que en este caso es igual a 7,47337, es la relación entre el estimado entre grupos y el estimado dentro de grupos. Cuando el valor-P de la prueba-F es menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre el valor medio de un tipo de pastilla de freno y el rendimiento de frenado del otro, con un nivel de confianza del 95,0 %, por lo tanto, se acepta la hipótesis alterna.

**Tabla 10-3:** ANOVA para Eficacia de frenado por Pastilla de freno (HILUX)

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	491,167	2	245,583	7,47	0,0122
Intra grupos	295,75	9	32,8611		
Total (Corr.)	786,917	11			

Fuente: Heredia D.; Arteaga J. 2021



**Gráfico 19-3:** Análisis gráfico de ANOVA (HILUX)

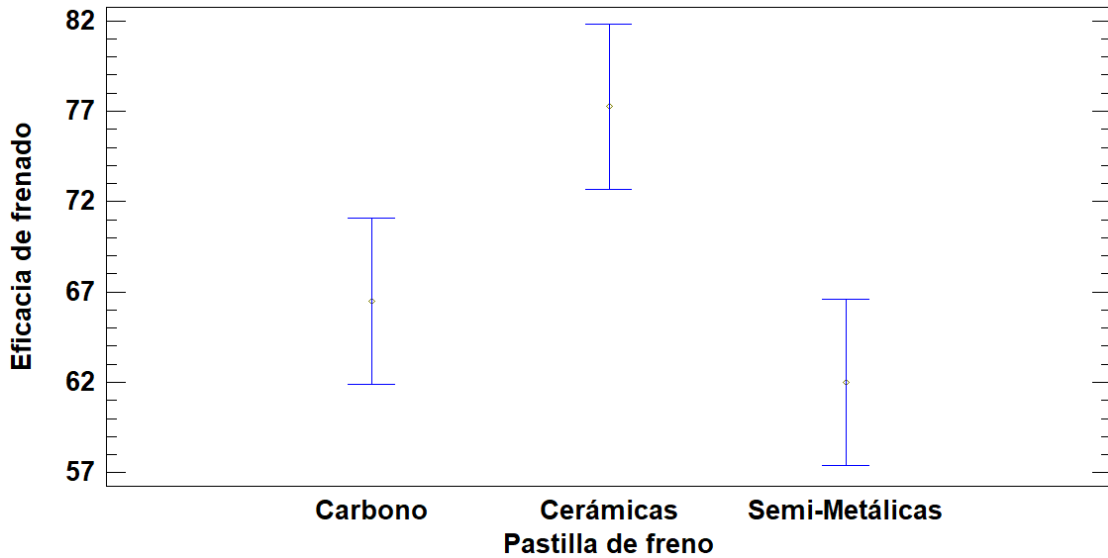
Realizado por: Heredia & Arteaga, 2021.

En la tabla 11-3 aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. El asterisco que se encuentra al lado de los 2 pares indica que estos pares muestran diferencias estadísticamente significativas con un nivel del 95,0% de confianza. No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna de X's. El método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. Con este método hay un riesgo del 5,0% al decir que cada par de medias es significativamente diferente, cuando la diferencia real es igual a 0.

**Tabla 11-3:** Método: 95,0 porcentaje LSD (HILUX)

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Semi-Metálicas	4	62,0	X
Carbono	4	66,5	X
Cerámicas	4	77,25	X

Fuente: Heredia D.; Arteaga J. 2021

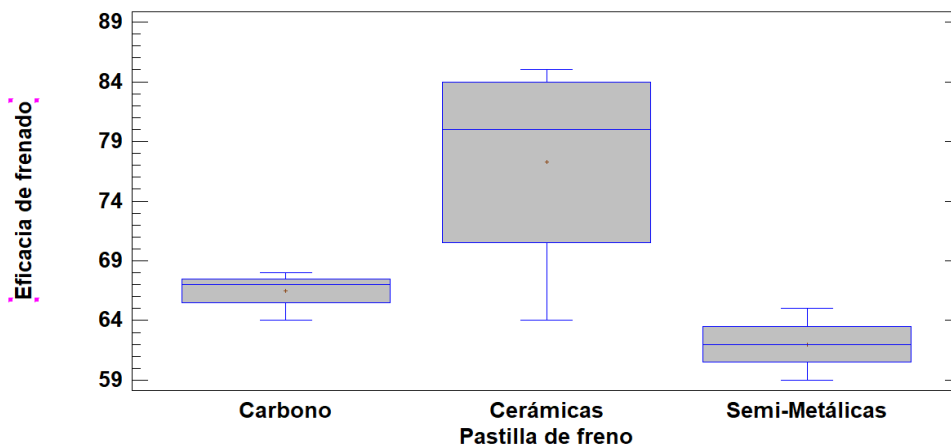


**Gráfico 20-3:** Análisis de gráfico LSD (HYLUX)

Realizado por: Heredia & Arteaga, 2021.

En la figura 7-3 muestra un análisis de cajas y bigotes donde podemos verificar la comparación de medias de la eficacia de frenado en los distintos tipos de pastillas de freno. En las pastillas de freno de carbono se muestra una mediana de la eficacia de frenado de 67% y una eficacia mínima y máxima de 64% y 68% respectivamente. Para las pastillas de cerámica muestra un valor de mediana de 80% con valores mínimos y máximos de 64% y 85% respectivamente. Finalmente, las pastillas semimetálicas muestran un valor de mediana de 62% de eficacia de frenado con valores mínimos y máximos 59% y 65% respectivamente.

**Gráfico Caja y Bigotes**



**Gráfico 21-3:** Análisis de gráfico de cajas y bigotes (HYLUX)

Realizado por: Heredia & Arteaga, 2021.

## CONCLUSIONES

- En el presente estudio se presenta valores de eficacia de frenado en dos vehículos de combustión interna, para lo cual se realizó un estudio previo en fuentes bibliográficas del comportamiento de los distintos tipos de pastillas a estudiar y así tener un análisis previo de los posibles resultados, en base al análisis de las pastillas de freno en investigaciones se estimó resultados similares al estudio presentado, denotando así un resultado ventajoso en las pastillas cerámicas.
- Se realizó las pruebas de la eficacia de frenado de los tres tipos de pastillas estudiadas en el equipo de pruebas BRAK 3000 el cual cumple con los parámetros establecidos en la norma NTR INEN 2 349:2003 para banco de prueba de frenos en la revisión vehicular, donde describe los valores de fuerza de frenado en los distintos ejes del vehículo, la eficacia de frenado y la fuerza del pedal de freno, así como también realiza un estudio de las gráficas de los valores obtenidos.
- Se realizó el análisis de las pastillas de freno de carbono, cerámicas y semimetálicas de acuerdo con la norma ISO 21069-2, la cual establece los procedimientos y normas para una correcta medición de la eficacia de frenado, para el vehículo Toyota Hilux se obtuvo una fuerza de frenado promedio de 12,65375 KN con una eficacia promedio de 66.5% en las pastillas de carbono, para las pastillas cerámicas se obtuvo una fuerza de frenado promedio de 12,55525 KN con una eficacia promedio de 77.25% y en las pastillas semimetálicas se obtuvo una fuerza de frenado promedio de 11.72 KN con una eficacia promedio de 62%. Los valores promedios de las pastillas de carbono, cerámica y semimetálicas de la eficacia de frenado para el vehículo Aveo fueron de 79%, 81% y 75% respectivamente.
- El software estadístico aporta con herramientas para permite analizar de forma estadística y visualizar los datos que se obtuvieron de los ensayos realizados en las pastillas de freno con lo cual fue posible comparar y notar diferencias entre estos; además de comprobar que en el vehículo Aveo no existe una variación estadísticamente significativa entre las eficacias generadas por las distintas pastillas, en el vehículo Toyota Hilux si existe una diferencia notoria de las eficacias de frenado siendo mayor en las pastillas cerámicas.

## RECOMENDACIONES

- Realizar un muestreo específico en el frenómetro en vehículos de tamaño medio, para poder tener una mejor apreciación del margen de error en la eficiencia de frenado de las pastillas cerámicas ya que fueron las que más variación dieron con relación a los otros dos tipos de pastillas, en el vehículo Toyota Hilux que se realizó las pruebas genera un margen del 21% , en el segundo vehículo Aveo Family mostró un margen del 25% , siendo estas pastillas las que más margen de error dieron en los dos vehículos.
- Se sugiere a los usuarios en general optar por la adquisición del repuesto de las pastillas cerámicas para el vehículo Toyota Hilux siempre que su economía lo permita, sin embargo, se debe tener claro que las pastillas de cerámica ofrecen mayor eficacia (10% de diferencia con la pastilla de carbono y 15% con las pastillas semimetálicas) al momento de frenar respecto a los otros juegos de pastillas, lo que se traduce en seguridad. Por otra parte, las pastillas cerámicas brindan más confort al momento del frenado mientras se conduce debido que genera menos ruido respecto a las pastillas semimetálicas las cuales son las pastillas más económicas, pero a su vez las más ruidosas y con una menor eficiencia de frenado.
- En el análisis del vehículo Aveo Family una selección de las tres pastillas de freno estudiadas es complejo, debido a que en el porcentaje de eficacia de las pastillas cerámicas con respecto de las pastillas de carbono y semimetálicas no existe una diferencia estadísticamente significativa, sin embargo, las pastillas cerámicas poseen una ventaja entre las demás pastillas de freno estudiadas.
- Generar una cultura de mantenimiento preventivo y de uso de los repuestos recomendados, a mediano plazo se convertirá en un ahorro para la economía del usuario y una significativa reducción del desgaste natural de los componentes del vehículo extendiendo la vida útil del automotor sin dejar de precautelar la integridad de las personas.

## BIBLIOGRAFÍA

**ABUTU, José., LAWAL, Domingo., NDALIMAN, M.B., LAFIA-ARAGA, Ruth Anayimi & OLULEYE, Módulo Atinuke.** “Tribological Properties of Friction Materials Developed from Non- Asbestos Materials using Response Surface Methodology”. *International Journal of Engineering Materials and Manufacture*. 2020, 5 (2), pp. 40-49. ISSN 0128-1852. DOI 10.26776/ijemm.05.02.2020.02

**AGUNSOYE, J.O., BELLO, S.A., BAMIGBAIYE, A.A., ODUNMOSU, K.A. y AKINBOYE, I.O.** “Recycled ceramic composite for automobile brake pad application”. *Journal of Research in Physics*. 2018, 39 (1), pp. 35-46. ISSN 2217-933X. DOI 10.2478/jrp-2018-0004

**AKINCIOĞLU, Gülsah., AKINCIOĞLU, Sitki., ÖKTEM, Hasan & UYGUR, İlyas.** “Wear response of non-asbestos brake pad composites reinforced with walnut shell dust”. *Journal of the Australian Ceramic Society*. 2020, 56 (3), pp. 1061-1072. ISSN 25101579. DOI 10.1007/s41779-020-00452-6.

**ÁLVAREZ MEJÍA, Dayana Salomé & NARVÁEZ SIMBAÑA, Pablo Andrés.** Análisis del desgaste por Abrasión del material de las pastillas de freno de vehículo disponibles en el mercado local mediante ensayos basados en la Norma Técnica ASTM G-65 para determinar su nivel de desgaste (Trabajo de grado) (Pregrado) [en línea]. Universidad Técnica del Norte, Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas, Carrera de Ingeniería en Mantenimiento Automotriz. Ibarra – Ecuador. 2020, p. 155. [Consulta. 18 abril 2022]. Disponible en: <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/10221/2/04%20MAUT%20107%20TRABAJO%20GRADO.pdf>

**ANTAMBA GUASGUA, Jaime., GRANJA PAREDES, Miguel & OROZCO ALARCÓN, Santiago.** “Análisis de la eficiencia de frenado con base a la capacidad de carga en un vehículo categoría m1”. *Tecnología y Sociedad*. 2018, 5 (16), pp. 435-446

**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE BISCOITOS, MASSAS ALIMENTÍCIAS E PÃES & BOLOS INDUSTRIALIZADOS, (ABIMAPI).** *Anuario 2020 ABIMAPI*. BB EDITORA: 2020, pp. 1-128.

**BASHIR, Masrat., QAYOUM, Adnan. y SALEEM, Sheikh.** “Influence of lignocellulosic banana fiber on the thermal stability of brake pad material”. *Materials Research Express*. 202196 (11). ISSN 20531591. DOI 10.1088/2053-1591/ab37bd



**BERNAL MORENO, Cristian & VARGAS ZÁRATE, María Alejandra.** Estudio de resultados de proceso de medición a través de la medición de pastillas de freno de vehículos mediante el uso del método anova. (Proyecto de grado) (Pregrado) [en línea]. Universidad distrital Francisco José de Caldas, Facultad Tecnológica, Ingeniería Mecánica. Bogotá – Colombia. 2019, p. 55. [Consulta: 12 abril 2022]. Disponible en: <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/24765/VargasZarateMariaAlejandra2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

**BLYTHE, William.** “An investigation of container chassis brake lining maximum wear rates”. *SAE Technical Papers*. 2009, 2 (1), pp. 285-290. ISSN 26883627. DOI 10.4271/2009-01-0091

**BORAWSKI, Andrzej.** “Conventional and unconventional materials used in the production of brake pads – Review”. *Science and Engineering of Composite Materials* [en línea]. 2020, 27 (1), pp. 374-396. [Consulta: 25 febrero 2022]. ISSN 21910359. DOI 10.1515/secm-2020-004. Disponible en: <https://www.degruyter.com/document/doi/10.1515/secm-2020-004/html>

**BRAVO CÓRDOVA, Delver.** Análisis del funcionamiento del frenómetro para medir eficiencia de frenado en vehículos livianos en la empresa ATA IRH. SAC. (Tesis) (Pregrado) [en línea]. Universidad César Vallejo, Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica. Chiclayo – Perú. 2016, p. 58. [Consulta: 25 abril 2022]. Disponible en: [https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/17212/bravo\\_cd.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/17212/bravo_cd.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

**CHENGAL REDDY, V., GUNASEKHAR REDDY, M. & HARINATH GOWD, G.** “Modeling And Analysis of FSAE Car Disc Brake Using FEM”. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering* [en línea]. 2013, 3 (9), pp. 383 – 389. [Consulta: 23 abril 2022]. Disponible en: <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.406.6650&rep=rep1&type=pdf>

**CHÉRREZ, Mario., MARTÍNEZ, Javier., PERALTA, Diana & LLANES, Edilberto.** “Métodos multicriterio aplicados en la selección de un material para discos de freno”. *Ingenius* [en línea]. 2018, (20), pp. 83-95. [Consulta: 24 febrero 2022]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6489008>

**DEL CANTO, Ero & SILVA SILVA, Alicia.** “Metodología Cuantitativa: Abordaje Desde La Complementariedad En Ciencias Sociales”. *Revista de Ciencias Sociales* [en línea]. 2013, 3 (141), pp. 25-34. [Consulta: 23 marzo 2022]. ISSN 0482-5276. DOI 10.15517/rcs.v0i141.12479.

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=15329875002>

**EL TELÉGRAFO.** *El tránsito en Latinoamérica deja un alto índice de mortalidad* [en línea]. Quito – Ecuador. 03 de noviembre de 2014. [Consulta: 12 febrero 2022]. Disponible en: <https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/mundo/8/el-transito-en-latinoamerica-deja-un-alto-indice-de-mortalidad-infografia>

**FLORES, Andrés., KAROLYS, Bryan., PASTÁS, Martín & RONQUILLO, Yaser.** *Sistema de frenos de un Ho Kart* [blog]. [Consulta: 25 marzo 2022]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/profile/Bryan-Karolys/publication/334812524\\_Poster\\_Sistema\\_Frenos\\_Go\\_Kart\\_UISEK/links/5d42145d92851cd04696e481/Poster-Sistema-Frenos-Go-Kart-UISEK.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Bryan-Karolys/publication/334812524_Poster_Sistema_Frenos_Go_Kart_UISEK/links/5d42145d92851cd04696e481/Poster-Sistema-Frenos-Go-Kart-UISEK.pdf)

**GAO, Pu., DU, Yongchang., RUAN, Jiageng. y YAN, Pengfei.** “Temperature-dependent noise tendency prediction of the disc braking system”. *Mechanical Systems and Signal Processing*. 2021, 149, pp. 107189. ISSN 10961216. DOI 10.1016/j.ymssp.2020.107189

**GARCÍA-LÉON, R.A., ACEVEDO-PEÑALOZA, C.H. & RODRÍGUEZ-CASTILLA, M.** Analysis of the flow air on an automotive brake disc with profiles N-38 type. “Scientia et Technica” [en línea]. (Universidad Tecnológica de Pereira - Colombia). 2019, 24 (03), pp. 385-389. [Consulta: 15 febrero 2022]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84961239005>

**GRKIÉ, Aleksandar., MIKLUC, Davorin., MUŽDEKA, Slavko., ARSENIĆ, Živan & DUBOKA, Čedomir.** “A model for the estimation of brake interface temperatura”. *Strojnicki Vestnik/Journal of Mechanical Engineering* [en línea]. 2015, 61 (6), pp. 392 – 398. [Consulta: 25 febrero 2022]. ISSN 00392480. DOI 10.5545/sv-jme.2014.2364. Disponible en: [https://www.sv-jme.eu/?ns\\_articles\\_pdf=/ns\\_articles/files/ojs/2364/public/2364-13527-1-PB.pdf&id=3202](https://www.sv-jme.eu/?ns_articles_pdf=/ns_articles/files/ojs/2364/public/2364-13527-1-PB.pdf&id=3202)

**GUTIÉRREZ SUQUILLO, Nelson & VINUEZA LOZADA, Alexy.** 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. “Enfoque UTE” [en línea]. 2018, 9 (1), pp. 188-203. ISSN 1390-9363. DOI 10.29019/enfoqueute.v9n1.259. [Consulta: 18 enero 2022]. Disponible en: <http://scielo.senescyt.gob.ec/pdf/enfoqueute/v9n1/1390-6542-enfoqueute-9-01-00188.pdf>

**IKPAMBESE, K.K., GUNDU, D.T. ^ TULEUN, L.T.** “Evaluation of palm kernel fibers (PKFs) for production of asbestos-free automotive brake pads”. *Journal of King Saud University - Engineering Sciences* [en línea]. 2016, 28 (1), pp. 110-118. [Consulta: 25 marzo 2022]. ISSN 10183639. DOI 10.1016/j.jksues.2014.02.001. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1018363914000051>

**INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN (INEN).** *Norma RTE INEN 034 “Elementos mínimos de seguridad en vehículos automotores”* [en línea]. Quito – Ecuador: 2016, pp. 01-25. [Consulta: 15 enero 2022]. Disponible en: <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/reglamentos/RTE-034-4R.pdf>

**INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN (INEN).** *Norma Técnica Ecuatoriana NTE-INEN 2349:2022. Revisión Técnica Vehicular: Procedimientos* [en línea]. Quito – Ecuador: 2003, p. 3. [Consulta: 21 junio 2022]. Disponible en: <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/2349.pdf>

**INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y CENSOS (INEC).** *Anuario de Estadísticas de Transporte 2017 - Diciembre, 2018* [en línea]. Quito – Ecuador, 2017, pp. 10-12. [Consulta: 28 enero 2022]. Disponible en: [https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas\\_Economicas/Estadistica%20de%20Transporte/2017/2017\\_TRANSPORTE\\_PPRESENTACION.pdf](https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_Economicas/Estadistica%20de%20Transporte/2017/2017_TRANSPORTE_PPRESENTACION.pdf)

**JADHAV, S.P. & SAWANT, S.H.** “A review paper: Development of novel friction material for vehicle brake pad application to minimize environmental and health issues”. *Materials Today: Proceedings* [en línea]. 2019, 19 (2), pp. 209-212. [Consulta: 25 marzo 2022]. DOI 10.1016/j.matpr.2019.06.703. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785319320772>

**KUMAR, Santosh & KUMAR GHOSH, Subrata.** “Particle emission of organic brake pad material: A review”. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*. 2019, 234 (5), pp. 1213-1223. ISSN 09544070. DOI 10.1177/0954407019879839

**KUMAR, V., KUMARAN, S. & DHANALAKSHMI, S.** “A case study focusing on investigating the tribological performance of Cu-Sn sintered brake pad of off-high road vehicles”. *Journal of Composite Materials*. 2020, 54 (27), pp. 4299-4310. ISSN 1530793X. DOI 10.1177/0021998320929752

**LENIN SINGARAVELU, D., RAHUL RAGH, M., VIJAY, R., MANOHARAN, S. y KCHAOU, M.** “Development and performance evaluation of eco-friendly crab shell powder based brake pads for automotive applications”. *International Journal of Automotive and Mechanical Engineering*. 2019, 6 (2), pp. 6502-6523. ISSN 21801606. DOI 10.15282/ijame.16.2.2019.4.0491

**LYU, Yezhe., MA, Jijie., ÅSTRÖM, Anna, WAHLSTRÖM, Jens & OLOFSSON, Ulf.** “Recycling of worn out brake pads – impact on tribology and environment”. *Scientific Reports*. 2020, 10 (1), pp. 1-7. ISSN 20452322. DOI 10.1038/s41598-020-65265-w

**MARIN, Elia., DAIMON, Emiko., BOSCHETTO, Francesco., RONDINELLA, Alfredo., INADA, Kosuke., ZHU, Wenliang & y PEZZOTTI, Giuseppe.** “Diagnostic spectroscopic tools for worn brake pad materials: A case study”. *Wear* [en línea]. 2019, 432-433, p. 202969. [Consulta: 28 febrero 2022]. ISSN 00431648. DOI 10.1016/j.wear.2019.202969. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0043164819308245>

**MARTÍNEZ AGUIRRE, Ane Maite.** La sustitución del cobre en lpastillas de freno orgánicas mediante polvos metálicos (Memoria) (Doctorado) [en línea]. Universidad de Navarra. Donostia – San Sebastián. 2015, pp. 30-33. [Consulta: 25 febrero 2022]. Disponible en: <https://dadun.unav.edu/handle/10171/39694>

**MARTÍNEZ PILAMUNGA, Alex Xavier & TOASA TOAPANTA, William Fernando.** Análisis tribológico comparativo de pastillas de freno con fibras de vidrio y cabuya como materiales reemplazantes al amianto (Tesis) (Pregrado) [en línea]. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Mecánica, Carrera de Ingeniería Automotriz. Riobamba – Ecuador. 2019, pp. 30-31. [Consulta: 31 marzo 2022]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/13469/1/65T00316.pdf>

**MATĚJKA, V., LU, Y., MATĚJKOVÁ, P., SMETANA, B., KUKUTSCHOVÁ, J., VACULÍK, M., TOMÁŠEK, V., ZLÁ, S. & FAN, Y.** “Possible stibnite transformation at the friction surface of the semi-metallic friction composites designed for car brake linings”. *Applied Surface Science*. 2011, 258 (5), pp. 1862-1868. ISSN 01694332. DOI 10.1016/j.apsusc.2011.10.063

**ORDAZ SANZ, José Antonio, MELGAR HIRALDO, María del Carmen & RUBIO CASTAÑO, Carmen María.** *Métodos Estadísticos y econométricos en la empresa y para finanzas* [en línea]. Universidad Pablo de Olavide, 2010. [Consulta: 12 marzo 2022]. ISBN

9788469472514. Disponible en: <https://libros.metabiblioteca.org/bitstream/001/362/5/978-84-694-7251-4.pdf>

**MOLINA SALVADOR, Kelmin Roberto.** “Comunicación electrónica del automóvil: Sistema CAN-BUS”. *Revista Tecnológica* [en línea]. 2015, 6 (6), pp. 39-42. [Consulta: 25 febrero 2022]. Disponible en: <http://www.redicces.org.sv/jspui/bitstream/10972/1865/1/7.pdf>

**MUTLU, Ibrahim., SUGÖZÜ, Ilker & KESKIN, Ahmet.** “The effects of porosity in friction performance of brake pad using waste tire dust”. *Polímeros* [en línea]. 2015, 25 (5), pp. 440-446. [Consulta: 14 febrero 2022]. Disponible en: <https://www.scielo.br/j/po/a/kNK3wbNLPmBY5ZY9tLtM8Sy/?format=pdf&lang=en>

**OBIKA, E.N., ACHEBE, C.H., CHUKWUNEKE, J.L. & EZENWA, O.N.,** “Effect of cane wood and palm kernel fibre filler on the compressive strength and density of automobile brake pad”. *Advances in Mechanical Engineering* [en línea]. 2020, 12 (7), pp. 1-9. [Consulta: 25 abril 2022]. ISSN 16878140. DOI 10.1177/1687814020947611. Disponible en: <https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/1687814020947611#:~:text=Thus%2C%20the%20combination%20of%20cane,good%20compressive%20strength%20and%20density.>

**RODRÍGUEZ JIMÉNEZ, Andrés & PÉREZ JACINTO, Alipio Omar.** “Métodos científicos de indagación y de construcción del conocimiento”. *Revista Escuela de Administración de Negocios* [en línea]. 2017, 82, pp. 179-200. [Consulta: 14 febrero 2022]. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/ean/n82/0120-8160-ean-82-00179.pdf>

**PATHMANABAN, Pugazhendhi., MUSHARATH, Aalam., SELVAGANESH, A. & S.Sr.IAMRISH.** “Testing of Coconut Shell Reinforced Brake PADS”. *International Journal of Scientific Research and Engineering Development*. 2019, 2 (5), pp. 853-859. ISSN 2581-7175

**REVILLA, Diego & RODRÍGUEZ, Jorge.** Diseño de un sistema de control de calidad en una empresa fabricante de pastillas de frenos para vehículos automotores (Tesis) (Pregrado) [en línea]. Universidad Católica Andrés Bello, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Industrial. 2017, p. 26. [Consulta: 14 abril 2022]. Disponible en: <http://biblioteca2.ucab.edu.ve/anexos/biblioteca/marc/texto/AAT6419.pdf>

**RÍOS MOLESTINA, Edmundo Francisco & RIVERA CRIOLLO, Carlos Luis.** Análisis mecánico del desgaste de las pastillas de freno en las motocicletas (Artículo de Investigación) (Pregrado) [en línea]. Universidad Internacional del Ecuador, Facultad de Ingeniería Mecánica

Automotriz. Quito – Ecuador. 2017, pp. 12-15. [Consulta: 14 abril 2022]. Disponible en: <https://repositorio.uide.edu.ec/handle/37000/2409>

**ROJAS, Vicente., PANCHÁ, Johnny., ROMERO, Vicente & LEMA, Jorge.** “Análisis de la eficiencia de un disco de freno convencional ventilado con respecto a un disco hiperventilado mediante mecanizado”. *Ingenius – Revista de Ciencia y Tecnología* [en línea]. 2020, (25), pp. 62-69. [Consulta: 25 abril 2022]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/journal/5055/505565143006/html/>

**SAI KRISHNAN, G., GANESH BABU, L., KUMARAN, P., YOGANJANEYULU, G. y SUDHAN RAJ, J.** “Investigation of Caryota urens fibers on physical, chemical, mechanical and tribological properties for brake pad applications”. *Materials Research Express*. 2019, 7 (1), pp. 1-8. ISSN 20531591. DOI 10.1088/2053-1591/ab5d5b

**SINGHA, T. y PATNAIK, A.** “Performance assessment of lapinus-aramid based brake pad hybrid phenolic composites in friction braking”. *Archives of Civil and Mechanical Engineering* [en línea]. 2015, 15 (1), pp. 151-161. [Consulta: 15 marzo 2022]. ISSN 16449665. DOI 10.1016/j.acme.2014.01.009. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.acme.2014.01.009>

**UEXKÜLL, Ole von., SKERFVING, Staffan., DOYLE, Reed & BRAUNGART, Michael.** “Antimonio en las pastillas de freno, ¿un componente cancerígeno?”. *Revista de producción más limpia* [en línea]. 2005, 13 (1), pp. 19-31. [Consulta: 15 febrero 2022]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652603001835>

**YAWAS, D.S., AKU, S.Y. y AMAREN, S.G.** “Morphology and properties of periwinkle shell asbestos-free brake pad”. *Journal of King Saud University - Engineering Sciences* [en línea]. 2019, 28 (1), pp. 103-109. ISSN 10183639. DOI 10.1016/j.jksues.2013.11.002. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jksues.2013.11.002>

**ZAMBRANO GUADALUPE, Jorge Luis., VILLA OROZCO, Mariana Elizabeth., BUENAÑO MOYANO, Luis Fernando & PALACIOS ALMACHE, Juan Carlos.** “Diseño y construcción de un sistema para medir desgaste en forros de frenos de disco”. *Ciencia Digital*. 2019, 3 (2). ISSN 2602-8085. DOI 10.33262/cienciadigital.v9i2.424

**ZHANG, Peng., ZHANG, Lin., WEI, Dongbin & QU, Xuanhui.** “Effect of matrix alloying on braking performance of copper-based brake pad under continuous emergency braking”. *Journal of Tribology*. 2020, 142 (8), pp. 1-8. ISSN 15288897. DOI 10.1115/1.4046624


# ANEXOS

## ANEXO A: PRUEBAS EN VEHÍCULO HILUX CON PASTILLAS DE CARBONO


V03.35	Nº serie	:
Fecha: 31/07/2081	Hora: 08:21:42	Nº homologación
Fecha impr: 31/07/2081	Hora impr.: 08:23:55	Fecha calibración

Nombre	:
Dirección	:
Población	:
Provincia	:
DNI-NIF	:
Teléfono	:
Matrícula	: ABC7890
Marca	:
Modelo	:
Kilometraje	:
Chasis	:
Inspectores	:

**A. PASO**



Desviación: +2,0 m/km









Desviación: +2,4 m/km

**SUSPENSIÓN**

			
Efic. izq.: 74 %	Dif.: 14 %	Efic. der.: 60 %	Efic. izq.: 59 %
P. izq.: 589 kg	P. der.: 523 kg	P. izq.: 431 kg	P. der.: 389 kg

Matrícula: ABC7890      Fecha: 31/07/2081      Hora: 08:21:42

**FRENOS**

					
Total F.S.: 12,686 kN		Total peso: 1932 kg		Total F.M.: 3,388 kN	
Efic.: 67 %				Efic.: 18 %	
					
F. Izq.: 3,841 kN	F. Der.: 3,597 kN	F. Izq.: 1,795 kN	F. Der.: 1,594 kN	F. Izq.: 2,564 kN	F. Der.: 2,685 kN
Dif.: 6 %		Dif.: 11 %		Dif.: 5 %	
Dif. Máx.: 18 %		Dif. Máx.: 31 %		Dif. Máx.: 34 %	
O. Izq.: 11 %	O. Der.: 25 %	O. Izq.: --- %	O. Der.: --- %	O. Izq.: 31 %	O. Der.: 40 %
F. PEDAL: --- N		F. PEDAL: --- N		F. PEDAL: --- N	
Peso: 1112 kg	Efic.: 68 %	R.R.I.: 0,120 kN	R.R.D.: 0,105 kN	Peso: 820 kg	Efic.: 65 %
R.R.I.: 0,191 kN	R.R.D.: 0,191 kN	R.R.I.: 0,145 kN	R.R.D.: 0,118 kN	R.R.I.: 0,145 kN	R.R.D.: 0,118 kN





V03.35		Nº serie	:
Fecha: 31/07/2081	Hora: 08:37:46	Nº homologación	:
Fecha impr: 31/07/2081	Hora impr.: 08:38:46	Fecha calibración	:

Nombre	:
Dirección	:
Población	:
Provincia	:
DNI-NIF	:
Teléfono	:
Matricula	: ABC-7890
Marca	:
Modelo	: HILUX
Kilometraje	:
Chasis	:
Inspectores	:

## FRENOS

Total F.S.: 12,948 kN  
Efic.: 68 %



F.Izq.: 3,921 kN F.Der.: 3,626 kN  
Dif.: 8 %   
Dif.Máx.: 18 %  
O.Izq.: 16 % O.Der.: 29 %  
F. PEDAL: ---- N  
Peso: 1122 kg Efic.: 69 %  
R.R.I.: 0,216 kNR.R.D.: 0,156 kN



Total peso: 1940 kg



F.Izq.: 1,774 kN F.Der.: 1,789 kN  
Dif.: 1 %  
Dif.Máx.: 20 %  
O.Izq.: --- % O.Der.: --- %  
F. PEDAL: ---- N  
R.R.I.: 0,153 kNR.R.D.: 0,116 kN

Total F.M.: 3,563 kN  
Efic.: 19 %



F.Izq.: 2,784 kN F.Der.: 2,618 kN  
Dif.: 6 %   
Dif.Máx.: 18 %  
O.Izq.: 31 % O.Der.: 37 %  
F. PEDAL: ---- N  
Peso: 818 kg Efic.: 67 %  
R.R.I.: 0,114 kNR.R.D.: 0,092 kN

V03.35		Nº serie	:
Fecha: 31/07/2081	Hora: 08:43:51	Nº homologación	:
Fecha impr: 31/07/2081	Hora impr.: 09:10:15	Fecha calibración	:

Nombre	:
Dirección	:
Población	:
Provincia	:
DNI-NIF	:
Teléfono	:
Matrícula	: ABC-7890
Marca	:
Modelo	:
Kilometraje	:
Chasis	:
Inspectores	:

## FRENOS



Total F.S.: 12,242 kN  
Efic.: 64 %

Total peso: 1943 kg

Total F.M.: 2,893 kN  
Efic.: 15 %



F.Izq.: 3,684 kN F.Der.: 3,318 kN  
Dif.: 10 %   
Dif.Máx.: 12 %  
O.Izq.: 15 % O.Der.: 22 %  
F. PEDAL: ---- N  
Peso: 1125 kg Efic.: 63 %  
R.R.I.: 0,245 kNR.R.D.: 0,181 kN



F.Izq.: 1,643 kN F.Der.: 1,250 kN  
Dif.: 24 %  
Dif.Máx.: 25 %  
O.Izq.: --- % O.Der.: --- %  
F. PEDAL: ---- N  
R.R.I.: 0,145 kNR.R.D.: 0,113 kN











F.Izq.: 2,676 kN F.Der.: 2,564 kN  
Dif.: 4 %   
Dif.Máx.: 28 %  
O.Izq.: 25 % O.Der.: 38 %  
F. PEDAL: ---- N  
Peso: 818 kg Efic.: 65 %  
R.R.I.: 0,166 kNR.R.D.: 0,098 kN

## ANEXO B: PRUEBAS EN VEHÍCULO HILUX CON PASTILLAS DE CERÁMICA

V03.35		Nº serie	:
Fecha: 31/07/2081	Hora: 09:12:54	Nº homologación	:
Fecha impr: 31/07/2081	Hora impr.: 09:13:40	Fecha calibración	:

Nombre	:
Dirección	:
Población	:
Provincia	:
DNI-NIF	:
Teléfono	:
Matrícula	: ABC-7890
Marca	:
Modelo	: HILUX
Kilometraje	:
Chasis	:
Inspectores	:

### FRENOS

		
Total F.S.: 12,141 kN Efic.: 64 %	Total peso: 1929 kg	Total F.M.: 3,633 kN Efic.: 19 %
		
F.Izq.: 3,714 kN F.Der.: 3,738 kN Dif.: 1 %  Dif.Máx.: 22 %	F.Izq.: 1,950 kN F.Der.: 1,684 kN Dif.: 14 % Dif.Máx.: 25 %	F.Izq.: 2,154 kN F.Der.: 2,535 kN Dif.: 15 %  Dif.Máx.: 30 %
O.Izq.: 20 %      O.Der.: 32 % F. PEDAL: ---- N	O.Izq.: --- %      O.Der.: --- % F. PEDAL: ---- N	O.Izq.: 27 %      O.Der.: 45 % F. PEDAL: ---- N
Peso: 1117 kg      Efic.: 68 % R.R.I.: 0,159 kNR.R.D.: 0,148 kN	R.R.I.: 0,127 kNR.R.D.: 0,111 kN	Peso: 812 kg      Efic.: 59 % R.R.I.: 0,129 kNR.R.D.: 0,090 kN

V03.35  
 Fecha: 31/07/2081 Hora: 09:17:03  
 Fecha impr: 31/07/2081 Hora impr.: 09:18:46

Nº serie :  
 Nº homologación :  
 Fecha calibración :

Nombre :  
 Dirección :  
 Población :  
 Provincia :  
 DNI-NIF :  
 Teléfono :

Matrícula : ABC-7890  
 Marca :  
 Modelo : HILUX  
 Kilometraje :  
 Chasis :  
 Inspectores :

**FRENOS**



Total F.S.: 11,816 kN  
 Efic.: 63 %

Total peso: 1920 kg

Total F.M.: 3,348 kN  
 Efic.: 18 %



F.Izq.: 3,454 kN F.Der.: 3,422 kN  
 Dif.: 1 %  
 Dif.Máx.: 18 %  
 O.Izq.: 11 % O.Der.: 23 %  
 F. PEDAL: ---- N  
 Peso: 1106 kg Efic.: 63 %  
 R.R.I.: 0,189 kNR.R.D.: 0,169 kN



F.Izq.: 1,757 kN F.Der.: 1,591 kN  
 Dif.: 9 %  
 Dif.Máx.: 44 %  
 O.Izq.: --- % O.Der.: --- %  
 F. PEDAL: ---- N  
 R.R.I.: 0,165 kNR.R.D.: 0,103 kN









F.Izq.: 2,336 kN F.Der.: 2,604 kN  
 Dif.: 10 %  
 Dif.Máx.: 21 %  
 O.Izq.: 23 % O.Der.: 39 %  
 F. PEDAL: ---- N  
 Peso: 814 kg Efic.: 62 %  
 R.R.I.: 0,152 kNR.R.D.: 0,107 kN

V03.35		Nº serie	:
Fecha: 31/07/2081	Hora: 09:21:38	Nº homologación	:
Fecha impr: 31/07/2081	Hora impr.: 09:22:24	Fecha calibración	:

Nombre	:
Dirección	:
Población	:
Provincia	:
DNI-NIF	:
Teléfono	:
Matrícula	: ABC-7890
Marca	:
Modelo	: HILUX
Kilometraje	:
Chasis	:
Inspectores	:




### FRENOS

		
Total F.S.: 12,695 kN Efic.: 67 %	Total peso: 1921 kg	Total F.M.: 3,091 kN Efic.: 16 %
		
F.Izq.: 3,759 kN F.Der.: 3,680 kN Dif.: 2 %  Dif.Máx.: 23 %	F.Izq.: 1,708 kN F.Der.: 1,383 kN Dif.: 19 % Dif.Máx.: 31 %	F.Izq.: 2,782 kN F.Der.: 2,474 kN Dif.: 11 %  Dif.Máx.: 33 %
O.Izq.: 16 % O.Der.: 36 % F. PEDAL: ---- N	O.Izq.: --- % O.Der.: --- % F. PEDAL: ---- N	O.Izq.: 28 % O.Der.: 41 % F. PEDAL: ---- N
Peso: 1109 kg Efic.: 68 % R.R.I.: 0,158 kNR.R.D.: 0,138 kN	R.R.I.: 0,169 kNR.R.D.: 0,112 kN	Peso: 812 kg Efic.: 66 % R.R.I.: 0,174 kNR.R.D.: 0,115 kN

V03.35		Nº serie	:	
Fecha: 31/07/2081	Hora: 09:25:46	Nº homologación	:	
Fecha impr: 31/07/2081	Hora impr.: 09:27:09	Fecha calibración	:	

	Nombre	:	
	Dirección	:	
	Población	:	
	Provincia	:	
	DNI-NIF	:	
	Teléfono	:	
	Matrícula	:	ABC-7890
	Marca	:	
	Modelo	:	HILUX
	Kilometraje	:	
	Chasis	:	
	Inspectores	:	

### FRENOS

		
<p>Total F.S.: 13,569 kN Efic.: 85 %</p>	<p>Total peso: 1624 kg</p>	<p>Total F.M.: 3,559 kN Efic.: 22 %</p>
<p>F.Izq.: 4,277 kN F.Der.: 3,990 kN Dif.: 7 % Dif.Máx.: 16 % O.Izq.: 61 % O.Der.: 64 % F. PEDAL: ---- N Peso: 812 kg Efic.: 99 % R.R.I.: 0,160 kNR.R.D.: 0,137 kN</p>	<p>F.Izq.: 1,959 kN F.Der.: 1,600 kN Dif.: 18 % Dif.Máx.: 49 % O.Izq.: --- % O.Der.: --- % F. PEDAL: ---- N R.R.I.: 0,161 kNR.R.D.: 0,104 kN</p>	<p>F.Izq.: 2,676 kN F.Der.: 2,627 kN Dif.: 2 % Dif.Máx.: 30 % O.Izq.: 20 % O.Der.: 36 % F. PEDAL: ---- N Peso: 812 kg Efic.: 67 % R.R.I.: 0,134 kNR.R.D.: 0,090 kN</p>

## ANEXO C: PRUEBAS EN VEHÍCULO HILUX CON PASTILLAS SEMI METÁLICAS

V03.35		Nº serie	:
Fecha: 31/07/2081	Hora: 10:58:18	Nº homologación	:
Fecha impr: 31/07/2081	Hora impr.: 11:00:05	Fecha calibración	:

Nombre	:
Dirección	:
Población	:
Provincia	:
DNI-NIF	:
Teléfono	:
Matrícula	: ABC-7890
Marca	:
Modelo	: HI-LUX
Kilometraje	:
Chasis	:
Inspectores	:

### FRENOS

		
Total F.S.: 12,161 kN Efic.: 65 %	Total peso: 1913 kg	Total F.M.: 3,616 kN Efic.: 19 %
		
F.Izq.: 3,461 kN F.Der.: 3,725 kN Dif.: 7 %  Dif.Máx.: 13 %	F.Izq.: 1,867 kN F.Der.: 1,749 kN Dif.: 6 % Dif.Máx.: 37 %	F.Izq.: 2,360 kN F.Der.: 2,616 kN Dif.: 10 %  Dif.Máx.: 36 %
O.Izq.: 7 % O.Der.: 10 % F. PEDAL: --- N	O.Izq.: --- % O.Der.: --- % F. PEDAL: --- N	O.Izq.: 27 % O.Der.: 42 % F. PEDAL: --- N
Peso: 1101 kg Efic.: 67 % R.R.I.: 0,196 kNR.R.D.: 0,150 kN	R.R.I.: 0,152 kNR.R.D.: 0,095 kN	Peso: 812 kg Efic.: 62 % R.R.I.: 0,185 kNR.R.D.: 0,100 kN

V03.35 N° serie :  
 Fecha: 31/07/2081 Hora: 11:04:39 N° homologación :  
 Fecha impr: 31/07/2081 Hora impr.: 11:05:54 Fecha calibración :

Nombre :  
 Dirección :  
 Población :  
 Provincia :  
 DNI-NIF :  
 Teléfono :  
 Matrícula : ABC7890  
 Marca :  
 Modelo : TOYOTA HILX  
 Kilometraje :  
 Chasis :  
 Inspectores :

## FRENOS



Total F.S.: 11,723 kN  
 Efic.: 62 %

Total peso: 1934 kg

Total F.M.: 3,416 kN  
 Efic.: 18 %



F.Izq.: 3,098 kN F.Der.: 3,386 kN  
 Dif.: 9 %  
 Dif.Máx.: 19 %  
 O.Izq.: 13 % O.Der.: 12 %  
 F. PEDAL: --- N  
 Peso: 1122 kg Efic.: 59 %  
 R.R.I.: 0,237 kNR.R.D.: 0,145 kN



F.Izq.: 1,692 kN F.Der.: 1,724 kN  
 Dif.: 2 %  
 Dif.Máx.: 49 %  
 O.Izq.: --- % O.Der.: --- %  
 F. PEDAL: --- N  
 R.R.I.: 0,160 kNR.R.D.: 0,100 kN



F.Izq.: 2,700 kN F.Der.: 2,539 kN  
 Dif.: 6 %  
 Dif.Máx.: 35 %  
 O.Izq.: 31 % O.Der.: 51 %  
 F. PEDAL: --- N  
 Peso: 812 kg Efic.: 66 %  
 R.R.I.: 0,137 kNR.R.D.: 0,108 kN



V03.35  
 Fecha: 31/07/2081 Hora: 11:11:19  
 Fecha impr: 31/07/2081 Hora impr.: 11:12:45

Nº serie :  
 Nº homologación :  
 Fecha calibración :

Nombre :  
 Dirección :  
 Población :  
 Provincia :  
 DNI-NIF :  
 Teléfono :  
 Matrícula : ABC7890  
 Marca :  
 Modelo : HILUX  
 Kilometraje :  
 Chasis :  
 Inspectores :

## FRENOS

Total F.S.: 11,200 kN  
 Efic.: 59 %



F.Izq.: 2,690 kN F.Der.: 3,089 kN  
 Dif.: 13 %  
 Dif.Máx.: 18 %  
 O.Izq.: 11 % O.Der.: 12 %  
 F. PEDAL: ---- N  
 Peso: 1120 kg Efic.: 53 %  
 R.R.I.: 0,270 kNR.R.D.: 0,160 kN

Total peso: 1932 kg



F.Izq.: 1,807 kN F.Der.: 1,630 kN  
 Dif.: 10 %  
 Dif.Máx.: 60 %  
 O.Izq.: --- % O.Der.: --- %  
 F. PEDAL: ---- N  
 R.R.I.: 0,122 kNR.R.D.: 0,088 kN

Total F.M.: 3,436 kN  
 Efic.: 18 %



F.Izq.: 2,922 kN F.Der.: 2,499 kN  
 Dif.: 14 %  
 Dif.Máx.: 41 %  
 O.Izq.: 25 % O.Der.: 47 %  
 F. PEDAL: ---- N  
 Peso: 812 kg Efic.: 68 %  
 R.R.I.: 0,183 kNR.R.D.: 0,098 kN

V03.35 N° serie :  
 Fecha: 31/07/2081 Hora: 11:15:56 N° homologación :  
 Fecha impr: 31/07/2081 Hora impr.: 11:16:31 Fecha calibración :

Nombre :  
 Dirección :  
 Población :  
 Provincia :  
 DNI-NIF :  
 Teléfono :  
 Matrícula : ABC7890  
 Marca :  
 Modelo :  
 Kilometraje :  
 Chasis :  
 Inspectores :

### FRENOS



Total F.S.: 11,788 kN  
 Efic.: 62 %

Total peso: 1934 kg

Total F.M.: 3,298 kN  
 Efic.: 17 %



F.Izq.: 2,960 kN F.Der.: 3,473 kN  
 Dif.: 15 %   
 Dif.Máx.: 21 %  
 O.Izq.: 7 % O.Der.: 10 %  
 F. PEDAL: ---- N  
 Peso: 1120 kg Efic.: 59 %  
 R.R.I.: 0,273 kNR.R.D.: 0,145 kN



F.Izq.: 1,682 kN F.Der.: 1,616 kN  
 Dif.: 4 %  
 Dif.Máx.: 62 %  
 O.Izq.: --- % O.Der.: --- %  
 F. PEDAL: ---- N  
 R.R.I.: 0,171 kNR.R.D.: 0,116 kN



F.Izq.: 2,850 kN F.Der.: 2,506 kN  
 Dif.: 12 %   
 Dif.Máx.: 28 %  
 O.Izq.: 26 % O.Der.: 35 %  
 F. PEDAL: ---- N  
 Peso: 814 kg Efic.: 67 %  
 R.R.I.: 0,174 kNR.R.D.: 0,097 kN

## ANEXO D: PRUEBAS EN VEHÍCULO AVEO FAMILY CON PASTILLAS DE CARBONO

V03.35		Nº serie	:
Fecha: 31/07/2081	Hora: 11:27:59	Nº homologación	:
Fecha impr: 31/07/2081	Hora impr.: 11:28:32	Fecha calibración	:

Nombre	:
Dirección	:
Población	:
Provincia	:
DNI-NIF	:
Teléfono	:
Matrícula	: PBK8442
Marca	:
Modelo	:
Kilometraje	:
Chasis	:
Inspectores	:

<b>A. PASO</b>		
	Desviación: +5,7 m/km	Desviación: +10,7 m/km

<b>FRENOS</b>		
		
Total F.S.: 8,026 kN Efic.: 75 %	Total peso: 1098 kg	Total F.M.: 2,765 kN Efic.: 26 %
F.Izq.: 2,517 kN F.Der.: 2,416 kN Dif.: 4 % Dif.Máx.: 20 %	F.Izq.: 1,549 kN F.Der.: 1,217 kN Dif.: 21 % Dif.Máx.: 28 %	F.Izq.: 1,607 kN F.Der.: 1,486 kN Dif.: 8 % Dif.Máx.: 36 %
O.Izq.: 11 % O.Der.: 9 %	O.Izq.: -- % O.Der.: -- %	O.Izq.: 20 % O.Der.: 25 %
F. PEDAL: --- N	F. PEDAL: --- N	F. PEDAL: --- N
Peso: 654 kg Efic.: 77 %	R.R.I.: 0,115 kNR.R.D.: 0,069 kN	Peso: 444 kg Efic.: 71 %
R.R.I.: 0,181 kNR.R.D.: 0,122 kN		R.R.I.: 0,108 kNR.R.D.: 0,071 kN

V03.35	Nº serie	:
Fecha: 31/07/2081	Hora: 11:33:20	Nº homologación :
Fecha impr.: 31/07/2081	Hora impr.: 11:35:26	Fecha calibración :

Nombre	:
Dirección	:
Población	:
Provincia	:
DNI-NIF	:
Teléfono	:
Matrícula	: PBK-8442
Marca	:
Modelo	: AVEO
Kilometraje	:
Chasis	:
Inspectores	:

### FRENOS

 <b>Total F.S.: 7,912 kN</b> <b>Efic.: 73 %</b>	 <b>Total peso: 1098 kg</b>	 <b>Total F.M.: 2,610 kN</b> <b>Efic.: 24 %</b>
 <b>F.Izq.: 2,407 kN F.Der.: 2,277 kN</b> <b>Dif.: 5 %</b> <b>Dif.Máx.: 20 %</b> <b>O.Izq.: 34 % O.Der.: 32 %</b> <b>F. PEDAL: --- N</b> <b>Peso: 654 kg Efic.: 73 %</b> <b>R.R.I.: 0,182 kNR.R.D.: 0,135 kN</b>	 <b>F.Izq.: 1,432 kN F.Der.: 1,178 kN</b> <b>Dif.: 18 %</b> <b>Dif.Máx.: 22 %</b> <b>O.Izq.: --- % O.Der.: --- %</b> <b>F. PEDAL: --- N</b> <b>R.R.I.: 0,114 kNR.R.D.: 0,073 kN</b>	 <b>F.Izq.: 1,699 kN F.Der.: 1,531 kN</b> <b>Dif.: 10 %</b> <b>Dif.Máx.: 32 %</b> <b>O.Izq.: 12 % O.Der.: 14 %</b> <b>F. PEDAL: --- N</b> <b>Peso: 444 kg Efic.: 74 %</b> <b>R.R.I.: 0,121 kNR.R.D.: 0,071 kN</b>

V03.35 N° serie :  
 Fecha: 31/07/2081 Hora: 11:40:44 N° homologación :  
 Fecha impr: 31/07/2081 Hora impr.: 11:41:16 Fecha calibración :

Nombre :  
 Dirección :  
 Población :  
 Provincia :  
 DNI-NIF :  
 Teléfono :  
 Matrícula : PBK8442  
 Marca :  
 Modelo : AVEO  
 Kilometraje :  
 Chasis :  
 Inspectores :

### A. PASO



Desviación: +2,0 m/km



Desviación: +9,3 m/km

### FRENOS

Total F.S.: 7,754 kN  
 Efic.: 89 %



F. Izq.: 2,231 kN F. Der.: 2,216 kN  
 Dif.: 1 %  
 Dif. Máx.: 20 %  
 O. Izq.: 39 % O. Der.: 17 %  
 F. PEDAL: --- N  
 Peso: 449 kg Efic.: 99 %  
 R.R.I.: 0,109 kN R.D.: 0,154 kN



Total peso: 890 kg



F. Izq.: 1,411 kN F. Der.: 1,124 kN  
 Dif.: 20 %  
 Dif. Máx.: 24 %  
 O. Izq.: --- % O. Der.: --- %  
 F. PEDAL: --- N  
 R.R.I.: 0,106 kN R.D.: 0,051 kN

Total F.M.: 2,535 kN  
 Efic.: 29 %



F. Izq.: 1,774 kN F. Der.: 1,533 kN  
 Dif.: 14 %  
 Dif. Máx.: 33 %  
 O. Izq.: 16 % O. Der.: 12 %  
 F. PEDAL: --- N  
 Peso: 441 kg Efic.: 76 %  
 R.R.I.: 0,107 kN R.D.: 0,067 kN

V03.35 N° serie :  
 Fecha: 31/07/2081 Hora: 11:44:33 N° homologación :  
 Fecha impr: 31/07/2081 Hora impr.: 11:46:06 Fecha calibración :

Nombre :  
 Dirección :  
 Población :  
 Provincia :  
 DNI-NIF :  
 Teléfono :  
 Matrícula : PBK-8442  
 Marca :  
 Modelo : AVEO  
 Kilometraje :  
 Chasis :  
 Inspectores :

## FRENOS

Total F.S.: 8,590 kN  
 Efic.: 80 %



F.Izq.: 2,774 kN F.Der.: 2,683 kN  
 Dif.: 3 %   
 Dif.Máx.: 12 %  
 O.Izq.: 12 % O.Der.: 6 %  
 F. PEDAL: ---- N  
 Peso: 654 kg Efic.: 85 %  
 R.R.I.: 0,186 kNR.R.D.: 0,133 kN



Total peso: 1100 kg



F.Izq.: 1,333 kN F.Der.: 1,012 kN  
 Dif.: 24 %  
 Dif.Máx.: 27 %  
 O.Izq.: --- % O.Der.: --- %  
 F. PEDAL: ---- N  
 R.R.I.: 0,137 kNR.R.D.: 0,065 kN

Total F.M.: 2,345 kN  
 Efic.: 22 %



F.Izq.: 1,624 kN F.Der.: 1,509 kN  
 Dif.: 7 %   
 Dif.Máx.: 29 %  
 O.Izq.: 22 % O.Der.: 23 %  
 F. PEDAL: ---- N  
 Peso: 446 kg Efic.: 72 %  
 R.R.I.: 0,115 kNR.R.D.: 0,070 kN

## ANEXO E: PRUEBAS EN VEHÍCULO AVEO FAMILY CON PASTILLAS DE CERÁMICA

V03.35	Nº serie :	
Fecha: 31/07/2081	Hora: 09:50:24	Nº homologación :
Fecha impr: 31/07/2081	Hora impr.: 09:56:23	Fecha calibración :

Nombre :
Dirección :
Población :
Provincia :
DNI-NIF :
Teléfono :
Matrícula : PBK-8442
Marca :
Modelo : AVEO
Kilometraje :
Chasis :
Inspectores :

FRENOS		
 Total F.S.: 7,998 kN Efic.: 74 %	 Total peso: 1104 kg	 Total F.M.: 2,957 kN Efic.: 27 %
 F.Izq.: 2,972 kN F.Der.: 1,778 kN Dif.: 40 % Dif.Máx.: 46 % O.Izq.: 13 % O.Der.: 14 % F. PEDAL: --- N Peso: 660 kg Efic.: 73 % R.R.I.: 0,189 kNR.R.D.: 0,154 kN	 F.Izq.: 1,579 kN F.Der.: 1,378 kN Dif.: 13 % Dif.Máx.: 16 % O.Izq.: --- % O.Der.: --- % F. PEDAL: --- N R.R.I.: 0,098 kNR.R.D.: 0,083 kN	 F.Izq.: 1,779 kN F.Der.: 1,470 kN Dif.: 17 % Dif.Máx.: 17 % O.Izq.: 19 % O.Der.: 14 % F. PEDAL: --- N Peso: 444 kg Efic.: 75 % R.R.I.: 0,082 kNR.R.D.: 0,070 kN

V03.35 N° serie :  
 Fecha: 31/07/2081 Hora: 09:59:28 N° homologación :  
 Fecha impr.: 31/07/2081 Hora impr.: 10:00:04 Fecha calibración :

Nombre :  
 Dirección :  
 Población :  
 Provincia :  
 DNI-NIF :  
 Teléfono :  
 Matrícula : PBK-8442  
 Marca :  
 Modelo : AVEO  
 Kilometraje :  
 Chasis :  
 Inspectores :

### FRENOS

Total F.S.: 8,560 kN  
 Efic.: 80 %



Total peso: 1095 kg

Total F.M.: 2,964 kN  
 Efic.: 28 %



F.Izq.: 3,305 kN F.Der.: 1,987 kN  
 Dif.: 40 %  
 Dif.Máx.: 46 %  
 O.Izq.: 15 % O.Der.: 16 %  
 F. PEDAL: --- N  
 Peso: 654 kg Efic.: 82 %  
 R.R.I.: 0,179 kNR.R.D.: 0,151 kN



F.Izq.: 1,629 kN F.Der.: 1,336 kN  
 Dif.: 18 %  
 Dif.Máx.: 20 %  
 O.Izq.: --- % O.Der.: --- %  
 F. PEDAL: --- N  
 R.R.I.: 0,085 kNR.R.D.: 0,063 kN









F.Izq.: 1,675 kN F.Der.: 1,594 kN  
 Dif.: 5 %  
 Dif.Máx.: 22 %  
 O.Izq.: 16 % O.Der.: 10 %  
 F. PEDAL: --- N  
 Peso: 441 kg Efic.: 76 %  
 R.R.I.: 0,126 kNR.R.D.: 0,081 kN



V03.35		Nº serie	:
Fecha: 31/07/2081	Hora: 10:03:01	Nº homologación	:
Fecha impr: 31/07/2081	Hora impr.: 10:03:36	Fecha calibración	:

Nombre	:
Dirección	:
Población	:
Provincia	:
DNI-NIF	:
Teléfono	:
Matrícula	: PBK-8442
Marca	:
Modelo	: AVEO
Kilometraje	:
Chasis	:
Inspectores	:

### FRENOS

 <b>Total F.S.: 8,515 kN</b> <b>Efic.: 98 %</b>	 <b>Total peso: 882 kg</b>	 <b>Total F.M.: 3,103 kN</b> <b>Efic.: 36 %</b>
 <b>F.Izq.: 3,255 kN F.Der.: 1,976 kN</b> <b>Dif.: 39 %</b> <b>Dif.Máx.: 47 %</b> <b>O.Izq.: 10 % O.Der.: 11 %</b> <b>F. PEDAL: --- N</b> <b>Peso: 439 kg Efic.: 99 %</b> <b>R.R.I.: 0,164 kNR.R.D.: 0,145 kN</b>	 <b>F.Izq.: 1,718 kN F.Der.: 1,385 kN</b> <b>Dif.: 19 %</b> <b>Dif.Máx.: 19 %</b> <b>O.Izq.: --- % O.Der.: --- %</b> <b>F. PEDAL: --- N</b> <b>R.R.I.: 0,101 kNR.R.D.: 0,061 kN</b>	 <b>F.Izq.: 1,727 kN F.Der.: 1,558 kN</b> <b>Dif.: 10 %</b> <b>Dif.Máx.: 22 %</b> <b>O.Izq.: 13 % O.Der.: 13 %</b> <b>F. PEDAL: --- N</b> <b>Peso: 443 kg Efic.: 76 %</b> <b>R.R.I.: 0,106 kNR.R.D.: 0,065 kN</b>

V03.35 N° serie :  
 Fecha: 31/07/2081 Hora: 10:06:11 N° homologación :  
 Fecha impr.: 31/07/2081 Hora impr.: 10:06:50 Fecha calibración :

Nombre :  
 Dirección :  
 Población :  
 Provincia :  
 DNI-NIF :  
 Teléfono :  
 Matrícula : PBK-8442  
 Marca :  
 Modelo : AVEO  
 Kilometraje :  
 Chasis :  
 Inspectores :







### FRENOS



**ANEXO F: PRUEBAS EN VEHÍCULO AVEO FAMILY CON PASTILLAS SEMIMETÁLICAS**

V03.35	Nº serie :	
Fecha: 31/07/2081	Hora: 10:29:38	Nº homologación :
Fecha impr: 31/07/2081	Hora impr.: 10:30:42	Fecha calibración :

Nombre :
Dirección :
Población :
Provincia :
DNI-NIF :
Teléfono :
Matrícula : PBK8442
Marca :
Modelo : AVEO
Kilometraje :
Chasis :
Inspectores :

FRENOS		
		
Total F.S.: 7,361 kN Efic.: 68 %	Total peso: 1103 kg	Total F.M.: 2,486 kN Efic.: 23 %
		
F.Izq.: 2,086 kN F.Der.: 2,169 kN Dif.: 4 % Dif.Máx.: 17 % O.Izq.: 13 % O.Der.: 11 % F. PEDAL: --- N Peso: 657 kg Efic.: 66 % R.R.I.: 0,153 kNR.R.D.: 0,119 kN	F.Izq.: 1,378 kN F.Der.: 1,109 kN Dif.: 20 % Dif.Máx.: 22 % O.Izq.: --- % O.Der.: --- % F. PEDAL: --- N R.R.I.: 0,091 kNR.R.D.: 0,081 kN	F.Izq.: 1,614 kN F.Der.: 1,493 kN Dif.: 8 % Dif.Máx.: 25 % O.Izq.: 16 % O.Der.: 10 % F. PEDAL: --- N Peso: 446 kg Efic.: 71 % R.R.I.: 0,092 kNR.R.D.: 0,049 kN

V03.35 N° serie :  
 Fecha: 31/07/2081 Hora: 10:35:10 N° homologación :  
 Fecha impr: 31/07/2081 Hora impr.: 10:35:56 Fecha calibración :

Nombre :  
 Dirección :  
 Población :  
 Provincia :  
 DNI-NIF :  
 Teléfono :  
 Matrícula : PBK8442  
 Marca :  
 Modelo : AVEO  
 Kilometraje :  
 Chasis :  
 Inspectores :

### FRENOS

Total F.S.: 8,707 kN  
 Efic.: 80 %



F.Izq.: 2,683 kN F.Der.: 2,815 kN  
 Dif.: 5 %  
 Dif.Máx.: 21 %  
 O.Izq.: 12 % O.Der.: 9 %  
 F. PEDAL: --- N  
 Peso: 657 kg Efic.: 85 %  
 R.R.I.: 0,144 kNR.R.D.: 0,133 kN

Total peso: 1104 kg



F.Izq.: 1,404 kN F.Der.: 1,118 kN  
 Dif.: 20 %  
 Dif.Máx.: 27 %  
 O.Izq.: --- % O.Der.: --- %  
 F. PEDAL: --- N  
 R.R.I.: 0,085 kNR.R.D.: 0,055 kN

Total F.M.: 2,521 kN  
 Efic.: 23 %




F.Izq.: 1,687 kN F.Der.: 1,522 kN  
 Dif.: 10 %  
 Dif.Máx.: 22 %  
 O.Izq.: 17 % O.Der.: 9 %  
 F. PEDAL: --- N  
 Peso: 447 kg Efic.: 73 %  
 R.R.I.: 0,115 kNR.R.D.: 0,066 kN

V03.35 N° serie :  
 Fecha: 31/07/2081 Hora: 10:39:12 N° homologación :  
 Fecha impr: 31/07/2081 Hora impr.: 10:39:53 Fecha calibración :

Nombre :  
 Dirección :  
 Población :  
 Provincia :  
 DNI-NIF :  
 Teléfono :  
 Matrícula : PBK8442  
 Marca :  
 Modelo : AVEO  
 Kilometraje :  
 Chasis :  
 Inspectores :

### FRENOS

		
Total F.S.: 8,203 kN Efic.: 76 %	Total peso: 1107 kg	Total F.M.: 2,654 kN Efic.: 24 %
		
F.Izq.: 2,446 kN F.Der.: 2,566 kN Dif.: 5 % Dif.Máx.: 23 % O.Izq.: 15 % O.Der.: 8 % F. PEDAL: --- N Peso: 660 kg Efic.: 77 % R.R.I.: 0,181 kNR.R.D.: 0,127 kN	F.Izq.: 1,462 kN F.Der.: 1,192 kN Dif.: 18 % Dif.Máx.: 24 % O.Izq.: --- % O.Der.: --- % F. PEDAL: --- N R.R.I.: 0,103 kNR.R.D.: 0,079 kN	F.Izq.: 1,729 kN F.Der.: 1,462 kN Dif.: 15 % Dif.Máx.: 23 % O.Izq.: 13 % O.Der.: 8 % F. PEDAL: --- N Peso: 447 kg Efic.: 73 % R.R.I.: 0,087 kNR.R.D.: 0,079 kN

V03.35 N° serie :  
 Fecha: 31/07/2081 Hora: 10:43:06 N° homologación :  
 Fecha impr: 31/07/2081 Hora impr.: 10:45:21 Fecha calibración :

Nombre :  
 Dirección :  
 Población :  
 Provincia :  
 DNI-NIF :  
 Teléfono :  
 Matrícula : PBK8442  
 Marca :  
 Modelo : AVEO  
 Kilometraje :  
 Chasis :  
 Inspectores :

### A. PASO



Desviación: +1,0 m/km



Desviación: +10,2 m/km

### FRENOS

Total F.S.: 8,352 kN  
 Efic.: 77 %



F.Izq.: 2,491 kN F.Der.: 2,607 kN  
 Dif.: 4 %  
 Dif.Máx.: 20 %  
 O.Izq.: 14 % O.Der.: 6 %  
 F. PEDAL: --- N  
 Peso: 660 kg Efic.: 79 %  
 R.R.I.: 0,102 kNR.R.D.: 0,143 kN



Total peso: 1109 kg



F.Izq.: 1,448 kN F.Der.: 1,174 kN  
 Dif.: 19 %  
 Dif.Máx.: 25 %  
 O.Izq.: --- % O.Der.: --- %  
 F. PEDAL: --- N  
 R.R.I.: 0,120 kNR.R.D.: 0,079 kN

Total F.M.: 2,622 kN  
 Efic.: 24 %



F.Izq.: 1,793 kN F.Der.: 1,462 kN  
 Dif.: 18 %  
 Dif.Máx.: 29 %  
 O.Izq.: 49 % O.Der.: 52 %  
 F. PEDAL: --- N  
 Peso: 449 kg Efic.: 74 %  
 R.R.I.: 0,076 kNR.R.D.: 0,070 kN