



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA DEL FRENADO MEDIANTE PRUEBAS DINÁMICAS Y
COMPUTACIONALES PARA LA MOTOCICLETA AX XO TRACKER 250**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
título de Ingeniero Automotriz

AUTORES: ANTONIO JESUS LEMA ZHININ

LEONARDO JOSE PINOS FIGUEROA

TUTOR: ING. ANDRÉS ESTEBAN ORDOÑEZ SEGARRA, MSc.

Cuenca - Ecuador

2023

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Antonio Jesus Lema Zhinin con documento de identificación N° 0302769708 y Leonardo Jose Pinos Figueroa con documento de identificación N° 0106695737; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Cuenca, 06 de enero del 2023

Atentamente,



Antonio Jesús Lema Zhinin

0302769708



Leonardo Jose Pinos Figueroa

0106695737

CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Nosotros, Antonio Jesus Lema Zhinin con documento de identificación N° 0302769708 y Leonardo Jose Pinos Figueroa con documento de identificación N° 0106695737, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Proyecto técnico: “Análisis de la eficiencia del frenado mediante pruebas dinámicas y computacionales para la motocicleta Axxo Tracker 250”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Automotriz, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 06 de enero del 2023

Atentamente,



Antonio Jesús Lema Zhinin

0302769708



Leonardo Jose Pinos Figueroa

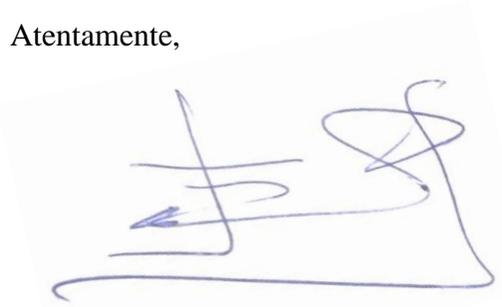
0106695737

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Andrés Esteban Ordoñez Segarra con documento de identificación N° 0103567863, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA DEL FRENADO MEDIANTE PRUEBAS DINÁMICAS Y COMPUTACIONALES PARA LA MOTOCICLETA AXXO TRACKER 250, realizado por Antonio Jesus Lema Zhinin con documento de identificación N° 0302769708 y por Leonardo Jose Pinos Figueroa con documento de identificación N° 0106695737, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Proyecto técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 06 de enero del 2023

Atentamente,



Ing. Andrés Esteban Ordoñez Segarra, MSc.

0103567863

DEDICATORIA

Con un inmenso cariño quiero dedicar este proyecto de tesis a mi hermano Edwin que siempre estuvo brindándome los recursos necesarios para alcanzar mi objetivo, cada día me inspira a ser mejor persona, ya que sin su confianza y consejos no lo habría logrado.

A mis Padres Manuel y Laura por brindarme todo su apoyo incondicional de trabajo y sacrificio todos estos años de preparación universitaria y por enseñar que debo esforzarme para conseguir mis objetivos y el infinito cariño durante estos años han mostrado con tanto amor que me brindaron durante todo este proceso.

A mis hermanas que han estado junto a mí en los momentos más importantes de la familia confiando en mis capacidades ya que mis logros también son los suyos.

Antonio Jesus Lema Zhinin

DEDICATORIA

El presente proyecto lo quiero dedicar primeramente a mis padres José Pinos y Nancy Figueroa que durante todo el proceso de estudios me han brindado su apoyo incondicional, su confianza y sobre todo el sacrificio realizado para que pueda culminar mis estudios.

A mi pareja Violeta Villanueva que con su cariño y sobre todo su confianza en mis capacidades, ya que ella es un pilar fundamental, para seguir adelante.

De igual manera se lo quiero dedicar a mis hermanas que siempre han estado presentes, dándome su apoyo, su confianza, su tiempo para que este logro sea posible.

Leonardo Jose Pinos Figueroa

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco a Dios por darme vida y salud, por haberme dado la fortaleza para lograr culminar mis estudios.

De manera muy especial a los seres más maravillosos que son mis padres, quienes, con su paciencia, sacrificio, amor y confianza depositada en mi persona, me guiaron por el camino de la superación y supieron cumplir uno de mis sueños anhelados.

Un agradecimiento especial al Ing. Andrés Ordoñez quien responsablemente nos transmitió sus conocimientos y apoyo incondicional para el desarrollo de la investigación.

A la Universidad Politécnica Salesiana por permitirme convertirme en ser un profesional en lo que tanto me apasiona gracias a cada docente por haberme compartido sus conocimientos que fue parte de mi proceso integral de formación.

Antonio Jesus Lema Zhinin

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, quiero agradecer a Dios por darme las fuerzas para nunca rendirme por más obstáculos que han aparecido en el camino él siempre me ha dado la fortaleza para seguir adelante.

Le Agradezco también a mis padres que me ayudaron tanto de manera económica como emocional, y que ahora después de un largo camino recorrido ellos puedan ver el resultado de su ayuda, que con mucho orgullo puedan decir “que nunca me rendí” para salir adelante.

A su vez le agradezco a mi enamora que siempre ha estado a mi lado apoyándome, este logro también es para ella que jamás se rindió.

Por último, agradecerle a Adolfo que como amigo me brindo su apoyo y su confianza para poder lograr este objetivo.

Leonardo Jose Pinos Figueroa

RESUMEN

El presente proyecto de titulación estará enfocado en el estudio de la eficiencia de frenado en la motocicleta Axxo Tracker 250 con diferentes pastillas de freno, por lo que se ha planteado un diseño de experimento en el cual se obtuvo catorce datos de las distintas pruebas realizadas en dos tipos de carretera como son de asfalto y grava. En la primera fase del proyecto se procedió a la revisión bibliográfica sobre el estudio del sistema de freno y fórmulas de la eficiencia de frenado, a continuación, se procederá a la realización del modelado del disco de freno de la motocicleta en el programa INVENTOR AUTODESK, subsiguiente proceso será analizar en el programa computacional ANSYS donde se obtendrá los datos de deformación y temperatura, por último, se realiza las pruebas dinámicas y el diseño de experimentos. Los resultados obtenidos evidencian que, en las carreteras de asfalto y grava, las pastillas de freno de gama alta y un tiempo bajo de frenado brindan una eficiencia de frenado de 98.20% y 78% respectivamente. El resultado final concluye que los tres factores independientes utilizados en el diseño de experimentos (tipos de pastilla de freno, la media del tiempo y temperatura) influyen al estudio de este DOE, el cual tenía la finalidad de conseguir la eficiencia de frenado de la motocicleta.

Palabras clave: ANSYS, DOE, Deformación del disco, Eficiencia de frenado.

ABSTRACT

This titling project will be focused on the study of braking efficiency on the Axxo Tracker 250 motorcycle with different brake pads, for which an experiment design has been proposed in which fourteen data was obtained from the different tests carried out in two types of road such as asphalt and gravel. In the first phase of the project, a bibliographical review was carried out on the study of the brake system and braking efficiency formulas, then the modeling of the motorcycle brake disc will be carried out in the INVENTOR AUTODESK program, The subsequent process will be to analyze in the ANSYS computer program where the deformation and temperature data will be obtained, finally, the dynamic tests and the design of experiments are carried out. The results obtained show that, on asphalt and gravel roads, high-end brake pads and low braking time provide braking efficiency of 98.20% and 78% respectively. The final result concludes that the three independent factors used in the design of experiments (types of brake pads, the average time and temperature) influence the study of this DOE, which had the purpose of achieving the braking efficiency of the motorcycle.

Keywords: Ansys, DOE, Deformation brake disc, Braking efficiency

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	V
AGRADECIMIENTO	VII
RESUMEN	IX
ABSTRACT.....	10
1. INTRODUCCIÓN	9
2. PROBLEMA.....	10
2.1 Antecedentes	10
2.2 Importancia y Alcances.....	10
2.3 Delimitaciones	11
3. OBJETIVOS	12
3.1 Objetivo General.....	12
3.2 Objetivos Específicos.....	12
4. CAPITULO I: FUNDAMENTOS TEÓRICOS Y ESTADO DEL ARTE.....	13
4.1 Seguridad en la motocicleta	13
4.2 Límite de velocidad.....	14
4.3 Cifras de la revisión técnica vehicular de Cuenca.	14
4.4 Funcionamiento y tipos de freno.....	15
4.4.1 Tipos de freno	16
4.4.2 Frenos de tambor.....	16

4.4.3 Frenos de disco.....	18
4.5 Características de las pastillas de freno	19
4.6 Efectos sobre los discos de freno	23
4.6.1 Efecto fading.....	23
4.6.2 Efecto judder	23
4.6.3 Efecto de cristalización	24
4.7 Dinámica de la motocicleta al momento del frenado.....	24
4.7.1 Dinámica del frenado	26
4.7.1.1 Freno delantero	26
4.7.1.2 Freno posterior	26
4.8 Fuerzas existentes al momento de frenado	27
4.9 Distribución de cargas.....	28
4.10 Eficiencia del sistema de frenos	29
4.11 Coeficiente de fricción	30
4.12 Inventor Autodesk.....	30
5. Capitulo II: DISEÑO Y PRUEBAS COMPUTACIONALES	32
5.1 Discos de freno	32
5.2 Pastillas de freno	33
5.3 Análisis de elementos finitos	34
5.4 Cargas, presiones y soportes	39

6.	CAPITULO III: PRUEBAS DE FRENADO DINAMICAS.....	43
6.1	Procedimiento para obtener los resultados de la eficiencia de frenado en superficies de asfalto y grava	43
6.2	Pruebas de frenado	46
6.3	Obtención de datos.....	47
6.4	Eficiencia de frenado.	50
6.5	Diseño experimental.	51
6.5.1	Variables del experimento.....	52
6.5.1.1	Variables independientes.....	53
6.5.1.2	Variables dependientes.....	53
6.5.2	Hipótesis planteadas.....	53
6.6	Diseño Factorial optimizado con superficies de respuesta.	54
6.6.1	Representación geométrica.	54
6.6.2	Representación de Yate,.....	55
6.6.3	Valor critico de estudio.	56
6.6.4	Regla de decisión.	57
6.6.5	Diseño planteado en el programa Minitab.	57
6.6.5.1	Análisis ANOVA.....	58
6.6.5.2	Hipótesis aceptadas.....	59
6.6.5.3	Factores relevantes	60

6.6.5.4	Graficas de comportamiento del experimento.....	61
7.	Conclusiones y recomendaciones.....	68
7.1	Conclusiones.....	68
7.2	Recomendaciones.....	69
8.	Anexos.....	70
8.1	Anexos.....	70
8.2	Anexo 2 Lamina disco de freno delantero.....	71
9.	Bibliografía.....	72

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ubicación camino a Tarqui para realización de la primera prueba	11
Figura 2 Ubicación Camino de segundo orden para la prueba	11
Figura 3 Contacto de la rueda con la superficie.....	16
Figura 4 Sistema de freno de tambor	17
Figura 5 Disco de Freno.....	18
Figura 6 Sistema de freno a disco	19
Figura 7 Pastillas de freno	21
Figura 8 Pastillas de freno Sinterizadas.....	22
Figura 9 Pastillas de freno Semimetálicas	22
Figura 10 Fuerzas que producen una motocicleta	25
Figura 11 Distancia de frenado	27
Figura 12 Porcentaje de Frenado	28
Figura 13 Modelado 3D de un elemento	31
Figura 14 Simulación de Análisis de deformación.....	31
Figura 15 Calibrador utilizado.....	32
Figura 16 Toma de medidas de los discos de freno.....	32
Figura 17 Diseño de los discos de freno	33
Figura 18 Toma de medidas de las pasillas de freno.....	33
Figura 19 Diseño Pastillas de freno trasero	34
Figura 20 Mallado conjunto de freno trasero.....	38
Figura 21 Temperatura disco de freno	40
Figura 22 Resultados deformación total	41

Figura 23 Resultados tensión equivalente	42
Figura 24 Mantenimiento de la motocicleta.	44
Figura 25 Toma de profundidad de labrado de la rueda.	45
Figura 26 Revisión de la presión de los neumáticos.....	45
Figura 27 Parámetros de medición en carretera en asfalto	46
Figura 28 Representación geométrica en superficie de grava.	54
Figura 29 Representación geométrica en superficie de asfalto.....	55
Figura 30 Resumen de los diseños factoriales.	58
Figura 31 Tabla ANOVA diseño superficie de grava.....	58
Figura 32 Tabla ANOVA diseño superficie de asfalto.....	59
Figura 33 Factores relevantes en camino de grava.	60
Figura 34 Factores relevantes en camino de asfalto.	61
Figura 35 Grafica de efectos principales en superficie de grava.	62
Figura 36 Grafica de interacción para respuesta en superficie de grava.	62
Figura 37 Gráfica de contorno y superficie de respuesta en superficie de grava.	63
Figura 38 Grafica de efectos principales en superficie de asfalto.	64
Figura 39 Grafica de interacción para respuesta en superficie de asfalto.....	65
Figura 40 Gráfica de contorno y superficie de respuesta en superficie de asfalto.....	66

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Cifras de las RTV, de los meses de enero y mayo de 2022	14
Tabla 2	Materiales Comunes en las Pastillas de Frenos	20
Tabla 3	Valores de los coeficientes de fricción	30
Tabla 4	Propiedades del material de los discos de freno	35
Tabla 5	Propiedad de los materiales pastilla de freno de gama baja.....	35
Tabla 6	Propiedad de los materiales pastilla de freno de gama media	36
Tabla 7	Propiedad de los materiales pastilla de freno de gama alta	37
Tabla 8	Valores de mallado	38
Tabla 9	Valores de frenado en asfalto con pastilla de freno de gama baja	47
Tabla 10	Valores de frenado en asfalto con pastilla de freno de gama media.....	48
Tabla 11	Valores de frenado en asfalto con pastilla de freno de gama alta.....	48
Tabla 12	Valores de frenado en grava con pastilla de freno de gama baja.....	49
Tabla 13	Valores de frenado en grava con pastilla de freno de gama media.....	49
Tabla 14	Valores de frenado en grava con pastilla de freno de gama alta.....	49
Tabla 15	Valores de eficiencia de frenado en camino de asfalto.....	50
Tabla 16	Valores de eficiencia de frenado en camino de asfalto.....	51
Tabla 17	Valores para el diseño factorial propuesto de grava.	52
Tabla 18	Valores para el diseño factorial propuesto de asfalto.	52
Tabla 19	Representación de YATE en superficie de grava.	55
Tabla 20	Representación de YATE en superficie de asfalto.	56
Tabla 21	Valor crítico de estudio.....	57

1. INTRODUCCIÓN

El estudio desarrolló el Análisis de la eficiencia de del frenado mediante pruebas dinámicas y computacionales para la motocicleta Axxo Tracker 250, este estudio brindara información valiosa acerca de que gama de pastilla de freno nos otorga una mayor eficiencia al momento de desacelerar la motocicleta.

Para el desarrollo de este proyecto se realizarán pruebas computacionales las cuales nos brindarán la información correcta sobre deformación y temperatura del disco de freno, a su vez también se aplicarán pruebas dinámicas en dos tipos de terreno el primero en un camino de segundo orden y el otro en una superficie asfaltada para obtener datos de las diferentes pastillas de freno y a su vez poder comparar la distancia de frenado, temperatura de los discos de freno y el tiempo de frenado de la motocicleta y en base a esos datos observar cual nos brinda el mejor rendimiento.

Una vez que se encuentren realizadas estas pruebas se crea el diseño experimental el cual nos permite analizar las variables más importantes que intervengan dentro la eficiencia de frenado, así como entender las diferentes graficas de comportamiento y concluir en qué momento se obtiene el mejor rendimiento del sistema de frenos.

2. PROBLEMA

Según la (EMOV EP, 2022) en sus cifras entregadas durante los meses de Enero a Mayo de 2022 señalan que de las 9.075 motocicletas que han pasado por la Revisión Técnica Vehicular (RTV), el 14,61% no han aprobado en el primer intento de la RTV por el sistema de freno, por tal motivo y considerando dichos porcentajes, se realizara el estudio del proyecto antes mencionado para explicar cuáles de las siguientes gamas de pastilla de freno (baja, media y alta) nos brindan una mejor eficiencia de frenado, para que las motocicletas no tengan estos problemas en la RTV, ni en la carretera, por lo que dados estos antecedentes se realizarán pruebas dinámicas con las diferentes calidades de pastillas en condición de manejo urbano basado en la normativa SAE-J1263, con ello se obtendrá resultados numéricos que ayuden al desarrollo del Diseño de Experimentos (DOE de sus siglas en ingles).

2.1 Antecedentes

Las motocicletas con el pasar del tiempo han ido implementando y mejorando los diferentes sistemas de freno, para brindar una mayor seguridad en los mismos, ya que este es un sistema importante, por lo que se han desarrollado pastillas y discos de freno de diferentes calidades para brindar la mayor eficiencia de frenado, por este motivo es importante ver cuál es la mejor opción de pastillas de freno existentes en el mercado para que así se pueda brindar una mayor seguridad al conductor de la motocicleta.

2.2 Importancia y Alcances

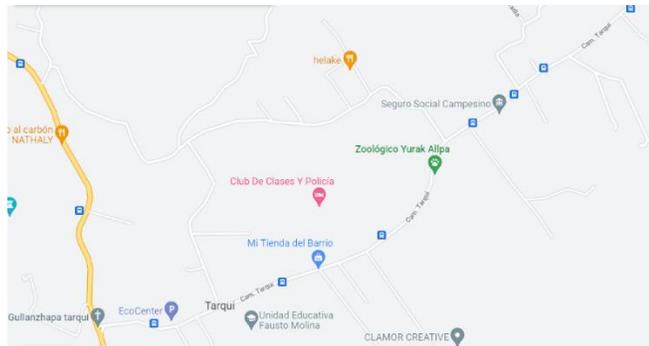
El beneficio de dicho proyecto está enfocado para las personas que hayan adquirido esta motocicleta, ya que al tener un estudio que muestre cual es la mejor opción para aumentar su seguridad al momento de frenar, estos podrán escoger la mejor opción para cada una de las diferentes necesidades existentes en el mercado nacional.

2.3 Delimitaciones

Este proyecto, se lo realizara en la provincia del Azuay, ubicada al sur del Ecuador, con una altitud de 2560 msnm, donde la primera prueba se lo realizara en el camino asfaltado del camino a Tarqui y la segunda prueba en un camino de segundo orden se lo realizara en el sector de Misicata el cual se encuentra dentro de la ciudad de Cuenca.

Figura 1

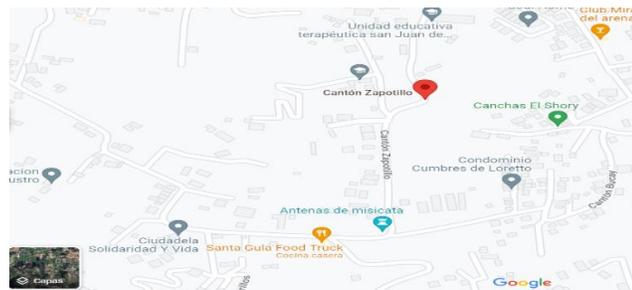
Ubicación camino a Tarqui para realización de la primera prueba



Nota. Reproducida de Ubicación para el desarrollo de las pruebas dinámicas, *Fuente:* Google Maps.

Figura 2

Ubicación Camino de segundo orden para la prueba



Nota. Reproducida de Ubicación para el desarrollo de las pruebas dinámicas, *Fuente:* Google Maps.

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo General

Analizar la eficiencia del frenado mediante pruebas dinámicas y computacionales para la motocicleta Axxo Tracker 250.

3.2 Objetivos Específicos

- Analizar el estado del arte mediante la investigación bibliográfica acerca de los sistemas de freno y la eficiencia de frenado para determinar las variables a medir.
- Realizar el modelado del sistema de freno en un programa de diseño asistido por ordenador (CAD) y la simulación del sistema de freno en el programa ANSYS, para la obtención de resultados y su eventual comparación con las pruebas dinámicas.
- Efectuar las pruebas dinámicas de ruta basados en la normativa SAE-J1263, para la obtención de los datos de las pruebas experimentales y de su estudio estadístico basado en Diseño de Experimentos, para la demostración de los resultados obtenidos.

4. CAPITULO I: FUNDAMENTOS TEÓRICOS Y ESTADO DEL ARTE

4.1 Seguridad en la motocicleta

En la sociedad actual la motocicleta ha sido el medio de transporte para el desplazamiento de las personas, por lo que debe tener en cuenta varios factores al momento de adquirir un modelo ya que este no cuenta con las protecciones que brinda un vehículo de categoría M, M1, M2, etc.

A su vez este vehículo de categoría L3 busca la mejora de la movilidad y una mayor tranquilidad del conductor ya que le permite desplazarse de manera más ágil y veloz, llegando a sus destinos en el menor tiempo. El mantenimiento preventivo en esta clase de vehículos con económicos con comparación de los automóviles (Vélez Tobar, 2016).

La seguridad intrínseca de la motocicleta se establece por los diseños dados al ser un vehículo ligero de peso y que alcanza velocidades altas en distancias cortas, además de no poseer componentes para proteger al conductor de la intemperie, lo que implica ser un vehículo de alto riesgo de accidentes y mortalidad al momento de conducir por las distintas vías.

La motocicleta se ha extendido en lugares de difícil acceso a automóviles, por situaciones financieras o geográficas, esto representa un aumento del tráfico en el parque automotor ya el país el incremento de la motocicleta es de 17% interanual con respecto al mes de noviembre del 2020. Las motocicletas vendidas en los meses de enero a noviembre del 2021 fueron de 80.680 y las 62.695 del 2020 contra las 72.486 del 2019 (Garcés Nieto Roberto, 2022; Vélez Tobar, 2016).

Las motocicletas son distintos de otros vehículos al poseer solamente dos ruedas requiere un mayor equilibrio y coordinación por parte del conductor, también las cusas de

incomprensión a normas de tránsito ha resultado el aumento de accidentes relacionado con las motocicletas (Los Frenos Del vehículo – TECMA, n.d.).

4.2 Límite de velocidad

En la Ley Orgánica de tránsito del Ecuador, en el Art 191 del Reglamento a Ley de Transporte Terrestre Tránsito y Seguridad Vial. Estipula los siguientes límites de velocidad permitidos para los vehículos livianos, motocicletas.

Zona urbana límite máximo de 50 km/h y rango moderado de 50 a 60 km/h.

Zona carretera de segundo el límite máximo es de 40 km/h.

A estos límites de velocidad se tiene que regir las pruebas de velocidad en las distintas calzadas que se va a realizar en la motocicleta con lo que se va a conseguir los datos de distancia de frenado (Reglamento a ley de transporte terrestre tránsito y seguridad vial, n.d.)

4.3 Cifras de la revisión técnica vehicular de Cuenca.

La empresa DALTO encargada de la revisión técnica vehicular de la ciudad de Cuenca muestra cifras importantes sobre el número de motocicletas que no pasan la RTV en el primer intento, por problemas en el sistema de frenos como se muestra a continuación. Cifras de las RTV, de los meses de enero a mayo de 2022.

Tabla 1

Cifras de las RTV, de los meses de enero y mayo de 2022

Revisiones					
Make	1RA	2DA	3RA	4TA	Total, general.

MOTOS	7722	1227	86	9	9044
APR	6418	1136	73	9	7636
CND	1304	91	13		1408
MOTO ALTO CILINDRAJE	28	3			31
APR	25	3			28
CND	3				3
Total, general.	7750	1230	86	9	9075

Nota. Cifras de las motocicletas revisadas entre los meses de enero y mayo. *Fuente:* (EMOV)

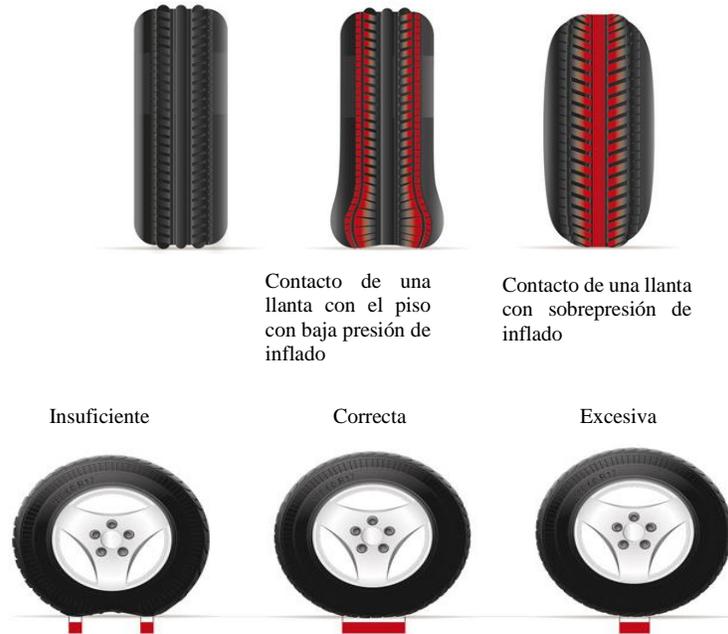
Por lo que estas cifras se vuelven un tema importante de estudio por lo que se buscara tratar de corregir este problema, y ofrecer una mayor eficiencia de frenado a los conductores de las motocicletas.

4.4 Funcionamiento y tipos de freno

El principio de funcionamiento básico en los frenos es la fricción que consiste en el momento que un cuerpo entra en contacto con el otro en diferentes direcciones, aparece una fuerza llamada fricción que se opone al movimiento del mismo cuerpo. Esta fuerza depende de dos grandes factores: El área de contacto entre los cuerpos y la fuerza aplicada en entre los mismo. En área de contacto que aparece entre los elementos de frenado (área de contacto entre disco, pastillas, zapatas y tambores), además del área de contacto entre las llantas y la superficie en la que circula

el vehículo como se aprecia en la figura 3 las características que presenta un neumático (Los Frenos Del vehículo – TECMA, n.d.).

Figura 3
Contacto de la rueda con la superficie.



Nota. Adaptada de Superficie de contacto que se realiza las llantas, *Fuente:* (Mechanic Garaje 2019).

4.4.1 Tipos de freno

En las motocicletas existen dos tipos de freno los cuales son freno de disco y de tambor.

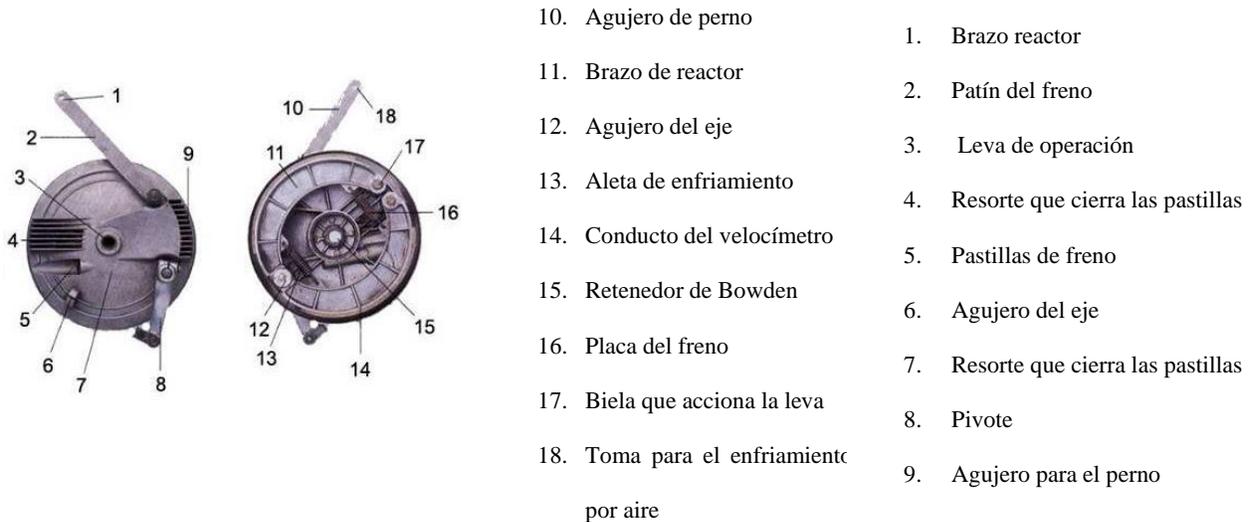
4.4.2 Frenos de tambor

Los frenos de tambor se ubican generalmente en la rueda posterior de la motocicleta, aunque se muestra de manera similar en la rueda delantera, tiene un diseño más simple y permite una fácil conexión del mecanismo del freno auxiliar que están compuesto de cables y varillas. Es un sistema que no permite el calentamiento rápido y la posibilidad de sobrecalentamiento es muy

alta, lo que reduce su eficacia de frenado. Es un conjunto de zapatas, muelles, cilindros, y correas como se muestra en la figura (Sanz Gonzales, 2009).

Los frenos de tambor se ubican generalmente en la rueda posterior de la motocicleta, aunque se muestra de manera similar en la rueda delantera, tiene un diseño más simple y permite una fácil conexión del mecanismo del freno auxiliar que están compuesto de cables y varillas. Es un sistema que no permite el calentamiento rápido y la posibilidad de sobrecalentamiento es muy alta, lo que reduce su eficacia de frenado. Es un conjunto de zapatas, muelles, cilindros, y correas como se muestra en la figura (Sanz Gonzales, 2009).

Figura 4
Sistema de freno de tambor



Nota. Reproducida de Frenos de tambor implementado en las motocicletas, *Fuente:* Motos y motors (www.sitenordeste.com/motosmotors/Partes-de-una-moto-2-parte.htm).

4.4.3 Frenos de disco.

Es fabricado en acero inoxidable en un círculo completo o contorneado perfil, adecuado para el uso de la calle de alto rendimiento o carreras cuenta con una construcción ligera con patrón de agujeros para la ventilación (MD Contour Series Stainless Brake Rotors - EBC Brakes, n.d.).

Figura 5
Disco de Freno

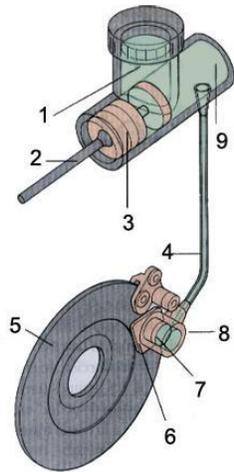


Nota. Reproducida de EBC Brakes Racing, *Fuente:* RP-1 (EBC, 2021).

Los frenos de disco normalmente se ubican en la rueda delantera o en las dos llantas de la motocicleta (según del fabricante) y trabajan por presión hidráulica y permiten el desplazamiento de mecanismo móvil dentro del cilindro lo siguiente comprime las pastillas sobre la superficie del disco. Estos últimos son los encargados de crear la fricción que genera la desaceleración del vehículo (Sanz Gonzales, 2009).

Los frenos de disco normalmente se ubican en la rueda delantera o en las dos llantas de la motocicleta (según del fabricante) y trabajan por presión hidráulica y permiten el desplazamiento de mecanismo móvil dentro del cilindro lo siguiente comprime las pastillas sobre la superficie del disco. Estos últimos son los encargados de crear la fricción que genera la desaceleración del vehículo (Sanz Gonzales, 2009).

Figura 6
Sistema de freno a disco



1. Deposito del líquido de freno
2. Barra de empuje
3. Pistón
4. Líquido de freno hidráulico
5. Disco de freno
6. Pastilla de freno
7. Pistón
8. Caliper
9. Cilindro maestro

Nota. Reproducida de Frenos de disco tambor y componentes, *Fuente:* Motos y motores (www.autonocion.com/frenos-disco-tambor-componentes-tipos).

A lo largo del tiempo, el avance de la tecnología relacionada con el campo de Ingeniería Automotriz ha producido nuevos avances que permite la mejora continua en los sistemas de freno por ejemplo los frenos hidráulicos (funcionamiento por presión hidráulica) en la actualidad existe sistema de ayuda al conductor como el sistema ABS (un sistema que utiliza sensores en las llantas que envía una señal para frenar el vehículo sin que se bloquee la llanta). El sistema de reparto electrónico (EBD), es el encargado de determinar la fuerza necesaria que se debe ejercer a la rueda del vehículo para desacelerar este sistema trabajan conjuntamente con el sistema ABS para una eficiencia de frenado mejorada (Vélez Tobar, 2016).

4.5 Características de las pastillas de freno

Las pastillas de freno son los componentes del sistema de frenado porque reducen o desaceleran la velocidad debido a la fricción por lo tanto deben estar hechos de material

con un alto coeficiente de fricción, durabilidad y continuar trabajando con la misma eficiencia a altas temperatura. La constitución de las pastillas de freno es, por tanto, bastante compleja y cada fabricante tiene su manera de elaborarla. Existen alrededor de 250 materiales y las pastillas de freno de gama alta están compuestas entre 16 y 18 materiales diferentes, así como elementos que constituyen para la elaboración de las pastillas de freno se pueden clasificarse en términos generales como aglutinantes, fibras, aditivos de fricción, lubricantes, abrasivos y rellenos como se representa en la tabla 1. (Bauzá Fernández, 2018).

Tabla 2

Materiales Comunes en las Pastillas de Frenos

Descripción	Función	Material
Aglutinantes	Forma matriz térmica estable	Resina fenólica termoestable
Fibras	Proporciona resistencia mecánica	Latón, acero, kevlar, cerámica
Lubricante	Estabiliza la fricción, especialmente a altas temperaturas	Grafito y sulfuros metálicos
Abrasivo	Aumenta la fricción, limpia la película superficial del disco	Zirconio, alúmina, óxido de cromo, silicatos metálicos
Relleno	Mejore la capacidad de fabricación y reduzca los costos	Grupo de materiales de la Mica: vermiculita, sulfato de bario

Nota. Materiales que se utilizan en la fabricación de las pastillas de frenos. *Fuente:*(Heisler, 2002)

Encontraremos diferentes tipos de pastillas de freno en función de su composición como las siguientes:

- **Pastillas de freno orgánicas:** Están elaboradas con fibras orgánicas (como aramida) e inorgánicas (como vidrio y carbono) se adhieren mediante resinas especiales. Tienen baja durabilidad y bajo rendimiento a elevadas temperaturas, pero no transfieren calor excesivo a la mordaza del freno y generan una eficacia de frenada elevada cuando las pastillas de freno son nuevas. Se recomienda la utilización si la conducción que no sea exigente (Diez Berja, 2020).

Figura 7
Pastillas de freno



Nota. Reproducida de Tipos de pastillas de freno. Fuente: Realizada por los autores autores.

- **Pastillas de freno sinterizadas:** Están manufacturadas por elementos metálicos conglomerados por medio de procesos de compactación a altas temperaturas. Ofrecen una máxima durabilidad y tolerancia al desgaste y un rendimiento mejor en situaciones extremas. Sin embargo, transfieren mucho calor a la mordaza y, por lo tanto resulta perjudicial, estas pastillas de freno son las más usadas y recomendables para motos deportivas (Diez Berja, 2020).

Figura 8
Pastillas de freno Sinterizadas



Nota. Reproducida de Tipos de pastillas de freno. *Fuente:* (Diez Berja, 2020)

- **Pastilla Semimetálicas:** Es una mezcla de materiales utilizadas en las pastillas de freno anteriores mencionadas. Las fibras orgánicas e inorgánicas se combinan con las fibras metálicas y se unen con resina fenólica. Ofrecen enormemente buenas conveniencias como son su durabilidad y la resistencia al deterioro soportan altas temperatura que los compuestos orgánicos. Sin embargo, en alta demanda, pueden desgastarse rápidamente (Diez Berja, 2020)

Figura 9
Pastillas de freno Semimetálicas



Nota. Reproducida de Tipos de pastillas de freno. *Fuente:* (La Pastilla de Freno - Revista My Bike, n.d.)

4.6 Efectos sobre los discos de freno

4.6.1 Efecto fading

Este efecto es la pérdida de eficiencia de frenado debido al calentamiento excesivo de sus componentes como pastillas de freno y discos de freno, soportan altas temperaturas, porque los frenos soportan una fricción elevada y por siguiente generan demasiado calor. Cuando mayor sea la fuerza de frenado para reducir la velocidad del vehículo, mayor será la temperatura.

Existen 4 causas que provocan el efecto fading:

- Sobrecalentamiento de los frenos.
- Exceso de carga.
- Mal uso por parte del conductor.
- Falta de mantenimiento del sistema de frenado.

4.6.2 Efecto judder

Son vibraciones que se producen al frenar a altas temperaturas con media presión y altas velocidad, ya que el frenado en estas condiciones lleva mucho tiempo y la temperatura sube considerablemente de 400 °C a 500 °C. Se produce el efecto judder cuando la fricción entre las pastillas de freno y discos de freno es mayor en ciertas áreas del disco.

En esta zona, la energía disipada es mayor, lo que va acompañado de una mayor temperatura. La vibración ocurre en puntos calientes, que generalmente se distribuyen uniformemente sobre el área del disco. En estos puntos calientes cuando se enfría crean manchas oscuras en distintas zonas y coloraciones que son visibles. Estas manchas se deben a un cambio en la estructura del material del disco de freno este cambio estructural suele deberse al propio material de fricción, que tiene una región donde varía su coeficiente. (El Judder Mecánica de Autos, n.d.)

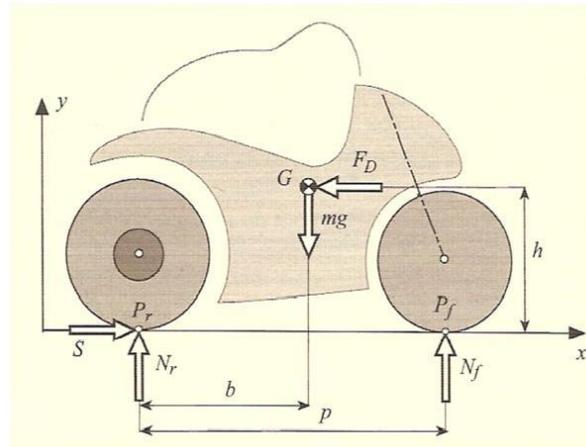
4.6.3 Efecto de cristalización

La cristalización de la superficie de las pastillas de freno se produce durante frenadas a altas temperaturas (450 °C a 700 °C), al igual que ocurre al descender pendientes o durante una conducción deportiva con deceleración elevada. Cuando el material de fricción está a más de 350 °C en contacto con los discos de freno, el contenido orgánico del compuesto se quema, alcanzando primero un estado líquido hasta carbonizarse por completo, produciendo gases y vapores. Durante este proceso de conversión, se puede formar una película superficial muy delgada y brillante en la superficie de la pastilla de freno, lo que reduce el coeficiente de fricción. Esto produce la eficiencia del material de fricción, y el recorrido del mango del freno se alarga, ya que el coeficiente de fricción disminuye por efecto de dicha película. (Cristalización de Pastillas de Freno – Kashima System, n.d.)

4.7 Dinámica de la motocicleta al momento del frenado

Las características de frenado de movimiento de una motocicleta se obtienen a partir del cambio de carga vertical en relación con el punto de contacto con la carretera con el sistema de suspensión y con las llantas. Por ejemplo, al acelerar o frenar, estos elementos interrumpen el movimiento provocando un efecto de hundimiento o squat. Estos términos se refieren a los cambios dinámicos de la motocicleta. El efecto del hundimiento es el fenómeno que ocurre cuando el frenado hace que la parte delantera gire, y el squat es la rotación de la rueda trasera donde la parte delantera se eleva y la parte trasera se hunde. Para explicar de una manera más técnica y significativa, es necesario analizar como las fuerzas que actúan sobre la motocicleta inciden en estos fenómenos, los mismos que pueden provocar accidentes durante la conducción (Dinámica de una Motocicleta Squat y Hundimiento, n.d.).

Figura 10
Fuerzas que producen una motocicleta



Nota. Reproducida de Fuerzas que actúan al conducir. *Fuente:* (Vélez Tobar, 2016)

En la figura 10 se muestra las diferentes fuerzas en la motocicleta que genera las variaciones antes mencionadas, donde:

- S = La fuerza de tracción ejercida por los elementos motrices del motor
- N_r = Fuerza de reacción existentes entre el pavimento y la rueda posterior
- N_f = Fuerza de reacción existente entre el pavimento y la rueda delantera
- mg = Peso del vehículo
- FD = Fuerzas resistente al movimiento

Para plantar las ecuaciones de movimiento en equilibrio se debe colocar los momentos igual a cero esto aplicara al centro de gravedad.

Equilibrio de fuerzas:

$$S - FD = 0 \quad (1)$$

Equilibrio de fuerzas verticales:

$$mg - Nr - Nf = 0 \quad (2)$$

Equilibrio de momentos con respecto al centro de gravedad:

$$S \cdot h - Nr \cdot b + Nf \cdot (p - d) = 0 \quad (3)$$

En la primera circunstancia con el momento del centro de gravedad si fuese cero se creará el fenómeno de Squat ya que la fuerza S está implicado con la potencia del motor (Vélez Tobar, 2016).

4.7.1 Dinámica del frenado

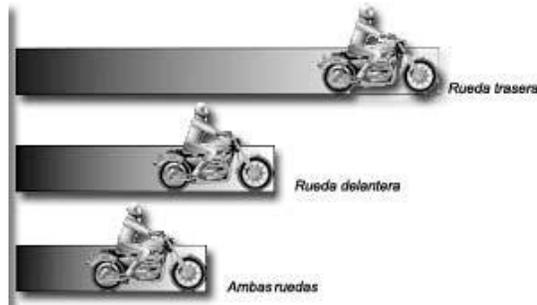
4.7.1.1 Freno delantero

El sistema de frenado delantero lleva la mayor carga y, por lo tanto, es el más efectivo para desacelerar la motocicleta, pero al momento de accionar se lo debe hacer una manera progresiva (Campoverde et al., 2017).

4.7.1.2 Freno posterior

Al momento de accionar el freno trasero, el peso se transfiere al eje delantero de manera menor y más uniforme, lo que hace el frenado se más efectivo y facilita la conducción al conductor. La desventaja del freno trasero es que no es eficaz para detener la motocicleta con mucha eficacia mientras el freno delantero es capaz de detener la marcha de la motocicleta (Campoverde et al., 2017)

Figura 11
Distancia de frenado



Nota. Reproducida de Distancia de frenado, según el freno a emplearse. *Fuente:* (Manual Motocicleta de José González Tortosa – Seguridad En Moto, n.d.)

4.8 Fuerzas existentes al momento de frenado

La fuerza de frenado hace referencia a todo lo que interviene al momento de reducir la velocidad del vehículo, se la obtenida por el sistema de frenado, por lo que es necesario mantener el sistema de freno en las mejores condiciones, pero se debe considerar que existen otros factores que intervienen en la desaceleración de la motocicleta como lo son: (José Antonio Berja, n.d.)

- Resistencia aerodinámica.
- Resistencia a la rodadura.
- Resistencia Mecánica.
- Resistencia a la pendiente.

Para obtener una verdadera eficacia de frenado se debe de tomar en cuenta las siguientes características. (José Antonio Berja, n.d.)

- Distancia de frenado.
- Tiempo que tarda en detenerse.

- Que no exista movimiento de la trayectoria al momento del frenado.
- Que no se deba aplicar demasiado esfuerzo para reducir la velocidad de la motocicleta.

4.9 Distribución de cargas

Para una correcta distribución de las cargas al momento de frenado, se considera que dicha fuerza tiene que distribuirse en entre los dos ejes, tomando en cuenta la cantidad de personas que puede llevar la motocicleta, la ubicación del motor, el peso de la motocicleta, el peso de componentes extras de la misma, etc. (José Antonio Berja, n.d.)

Una de las partes principales en la transferencia de cargas es la energía cinética, la misma que viene desde el eje trasero al delantero, al momento de accionar el sistema de freno, esto produce un sobreesfuerzo en el eje delantero, lo que provocara que varíe la capacidad máxima de freno en cada eje. (José Antonio Berja, n.d.)

Para que el sistema distribuya de una manera correcta el porcentaje de frenado se lo divide normalmente como se muestra en la gráfica siguiente:

Figura 12
Porcentaje de Frenado



Nota. Reproducida de Fuerzas que actúan en la motocicleta. *Fuente:* (ITALIKA, n.d.)

(<https://www.italika.mx/MundoITK/Cual-es-la-manera-correcta-de-frenar-en-moto/>)

4.10 Eficiencia del sistema de frenos

La eficiencia de frenado se mide de una manera porcentual, donde esta nos representa la desaceleración máxima que puede tener la motocicleta, esta medida viene dada por el peso del vehículo, el coeficiente de adherencia en la rueda y fuerza aplicada en los frenos.

El valor optimo a alcanzar será de un 100% esto se da cuando la fuerza de frenado tiende a ser igual al peso del vehículo, pero normalmente se considera que el 80% es un valor aceptable para el sistema.

$$E = \frac{d}{g} \quad (4)$$

Donde:

d = desaceleración de la motocicleta en $\left(\frac{m}{s^2}\right)$

g = gravedad en $\left(\frac{m}{s^2}\right)$

A su vez al multiplicar la gravedad y la desaceleración de la motocicleta por la masa de esta se obtiene:

$$E = \frac{m*d}{m*g} = \frac{Ff}{p} \quad (5)$$

Donde:

E = Eficiencia de frenado en (%)

Ff = Fuerza de frenado en (N)

P = Peso de la motocicleta en (N).

4.11 Coeficiente de fricción

El coeficiente de fricción es la relación que existe entre el deslizamiento (fuerza de deslizamiento) y la fuerza de retención ejercida cuando dos superficies se encuentran en contacto, en términos prácticos se puede decir que este coeficiente es la dificultad de que un cuerpo se desliza sobre otro.

Estos valores vienen dados en tablas para su utilización en cálculos tal es así que pueden ser utilizados en la investigación de accidentes de tránsito y en lo principal de este proyecto que es la eficiencia de frenado.

Tabla 3
Valores de los coeficientes de fricción

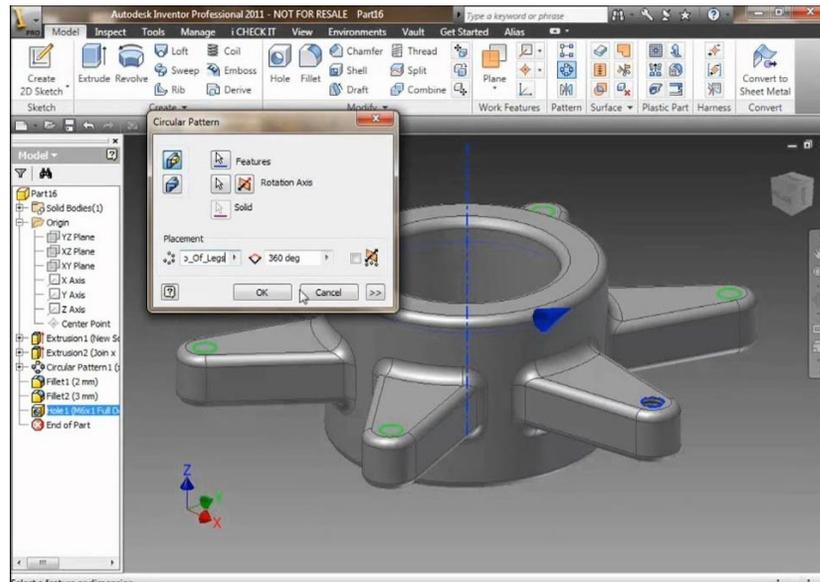
Tipo de Suelo	Estado	Neumáticos Nuevos	Neumáticos Usados
Hormigo	Seco	1	1
	Mojado	0.7	0.5
Asfalto normal	Seco	0.9	0.8
	Mojado	0.5	0.45
Grava	Seco	0.6	0.6
Barro		0.2	0.1
Hielo		0.05	< 0.05

Nota. Coeficientes de fricción en las distintas calzadas que existen. *Fuente:*(Moncayo Ortiz, 2004)

4.12 Inventor Autodesk.

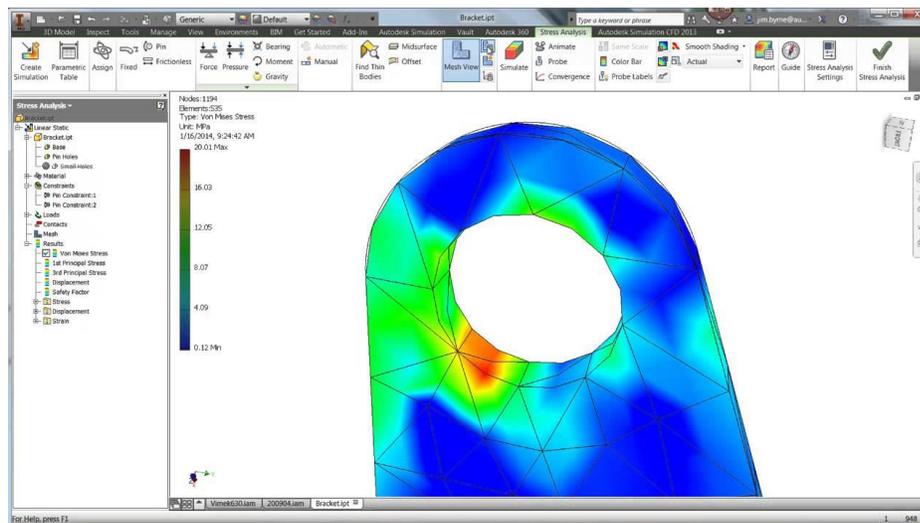
Esta herramienta de dibujo es utilizada para el diseño 3D de elementos mecánicos como se puede ver en la figura 13, es un programa profesional que permite realizar simulaciones de deformación véase la figura 14, por lo que, cualquier tipo de pieza puede ser estudiada antes de su producción, lo cual tiene varios beneficios como por ejemplo el costo de producción, el tiempo de estudio, etc.

Figura 13
Modelado 3D de un elemento



Nota: Reproducida de Symetri UK. *Fuente:* (Symetri UK., 2011)

Figura 14
Simulación de Análisis de deformación



Nota: Reproducida de Simulation Tips. *Fuente:* (Majenta Solutions., 2014)

5. Capítulo II: DISEÑO Y PRUEBAS COMPUTACIONALES

5.1 Discos de freno

Para el modelado de los discos de freno, se empleó un calibrador el cual tiene una tolerancia de 1/20 mm como se muestra en la figura 15.

Figura 15
Calibrador utilizado



Fuente: Realizada por los autores.

Con esta herramienta se procedió a la obtención de las medidas de los elementos como se puede observar en la figura 16.

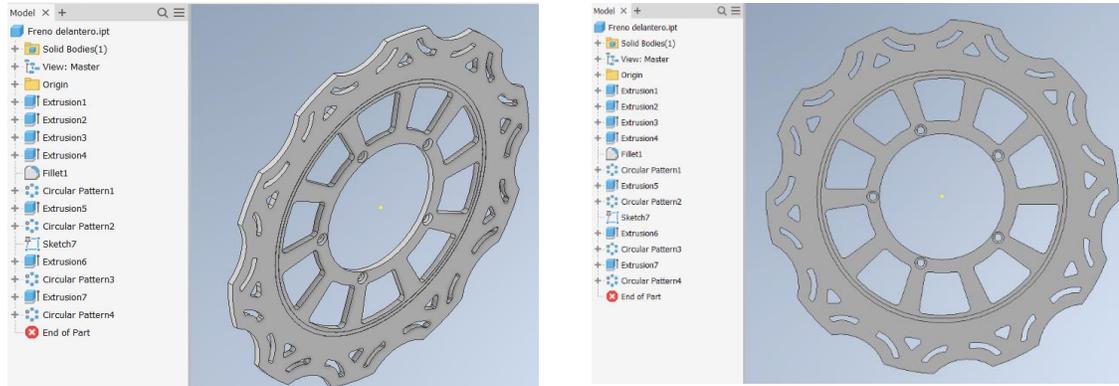
Figura 16
Toma de medidas de los discos de freno



Fuente: Realizada por los autores.

Con la obtención de las medias se procedió al diseño de los elementos en el programa Inventor Autodesk a una escala de 1:1, para obtener los resultados que se observan en la figura 17, el cual será utilizado para un análisis de deformación y de temperatura.

Figura 17
Diseño de los discos de freno

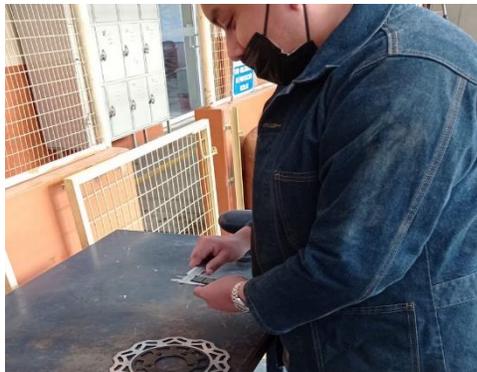


Fuente: Realizada por los autores.

5.2 Pastillas de freno

Para el modelado de las pastillas de freno se procedió a la toma de las medias, como se observa en la figura 18.

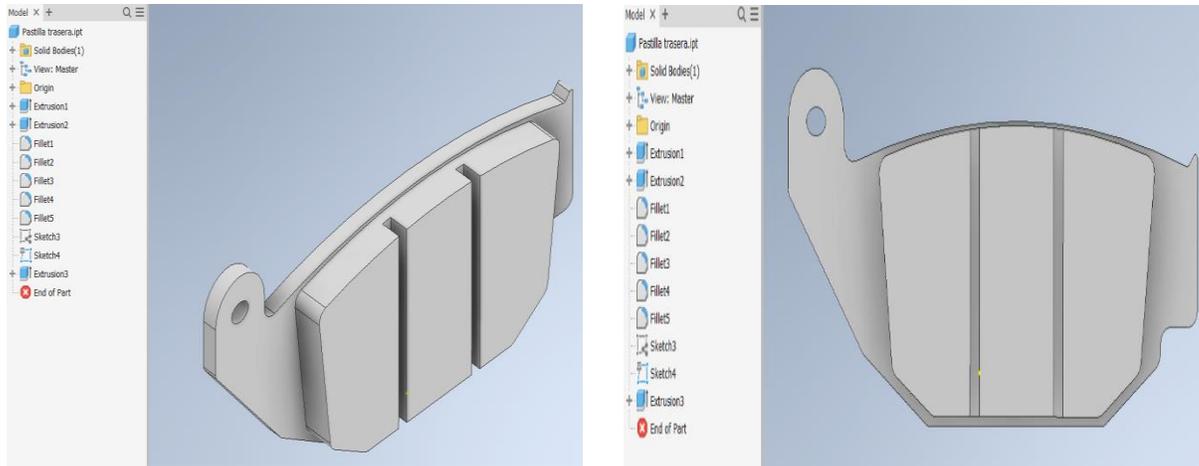
Figura 18
Toma de medidas de las pasillas de freno



Fuente: Realizada por los autores.

Con los datos obtenidos por la medición se procedió al diseño de los elementos en el programa Inventor Autodesk a una escala de 1:1, para obtener los resultados que se observan en la figura 19.

Figura 19
Diseño Pastillas de freno trasero



Fuente: Realizada por los autores.

5.3 Análisis de elementos finitos

Para este proceso se utilizará el diseño del disco freno delantero y se exportará el mismo al programa ANSYS en formato STP, el cual nos permitirá realizar los siguientes estudios:

- Temperatura con el uso de “*steady – state termal*”
- Deformación con el uso de “*static structural*”

Con estos estudios se procederá analizar el comportamiento del disco de freno delantero. Como siguiente paso se establece las diferentes propiedades de los materiales que componen los elementos del conjunto del sistema de freno, como se muestra en las siguientes tablas.

Tabla 4
Propiedades del material de los discos de freno

Propiedades	Unidades	Hierro fundido
Densidad	Kg/m^3	7200
Módulo de elasticidad	Pa	$1.1 \cdot 10^{11}$
Límite elástico	Pa	-
Coefficiente de Poisson	-	0.28
Conductividad térmica	W/mk	52
Calor específico	J/gk	447

Nota. Propiedades mecánicas de los discos de freno. *Fuente:* (Chavan et al., 2018)

Tabla 5
Propiedad de los materiales pastilla de freno de gama baja

Propiedad	Unidades	Pastilla de freno orgánica
Densidad	Kg/m^3	2700
Módulo de elasticidad	Gpa	28
Coefficiente de Poisson	-	0.29

Temperatura máxima de uso	°C	200
Conductividad térmica	W/mk	2.36
Calor específico	J/gk	4000

Nota. Propiedades mecánicas de las pastillas de frenos. *Fuente:* (Thermal stresses in discs during an automotive braking cycle, n.d.)

Tabla 6
Propiedad de los materiales pastilla de freno de gama media

Propiedad	Unidades	Pastilla de freno semimetálica
Densidad	Kg/m^3	2150
Módulo de elasticidad	Gpa	102.9
Coefficiente de Poisson	-	0.25
Temperatura máxima de uso	°C	1100
Conductividad térmica	W/mk	0.539
Calor específico	J/gk	1344

Nota. Propiedades mecánicas de las pastillas de frenos. *Fuente:* (Kim et al., 2010)

Tabla 7
Propiedad de los materiales pastilla de freno de gama alta

Propiedad	Unidades	Pastilla de freno cerámica
Densidad	Kg/m^3	1600
Módulo de elasticidad	Pa	$7*10^{10}$
Coefficiente de Poisson	-	0.1
Esfuerzo de compresión	Pa	$1.9*10^8$
Temperatura máxima de uso	$^{\circ}C$	1750
Conductividad térmica	W/mk	8
Calor específico	J/gk	1.123

Nota. Propiedades mecánicas de las pastillas de frenos. *Fuente:* (Chavan et al., 2018)

Una vez insertado las propiedades mecánicas de los elementos a estudiar en el programa se procedió a seleccionar el mallado que se empleara para las diferentes simulaciones, por lo que es importante tomar en cuenta los diferentes valores que nos ofrece cada tipo de malla como se muestra en la tabla 7.

Tabla 8
Valores de mallado

Tipo de malla	Tamaño de malla	de Elementos	Nodos	Average
Default	Default	9290	20170	0.562
Default	4mm	25269	49921	0.642
Tetrahedrons	4mm	25269	49921	0.642
Tetrahedrons	2mm	65396	120807	0.700
Tetrahedrons	1mm	229043	408002	0.715

Fuente. Realizada por los autores.

En la tabla 7 se observan dos mallados default el primero que lo brinda el programa de forma directa el cual no tiene un porcentaje de mallado relevante (average) para el análisis, luego de estos se observan tres métodos llamados Tetrahedrons los cuales son usados en geometrías complejas, por lo que al modificar el tamaño de los elementos se observa un incremento en el porcentaje de mallado (average), lo cual nos da como conclusión que se puede utilizar cualquiera de los dos últimos datos de la tabla, siempre que se consideren que los valores de 0.700 y 0.715, pero al momento de seleccionar la malla correspondiente se optó por el mejor mallado que fue de 1 mm que nos brinda un mejor resultado del análisis en los diferente estudios.

Figura 20
Mallado conjunto de freno trasero



Fuente: Realizada por los autores.

5.4 Cargas, presiones y soportes

Las cargas, temperaturas, soportes y presiones dependerán de los estudios que se desarrollaron en el proyecto, se debe considerar que existen parámetros ya establecidos por lo que la presión máxima de frenado es de 8 Mpa.

Ya que se harán dos simulaciones en el disco de freno delantero, se deben considerar los siguientes parámetros.

Térmico

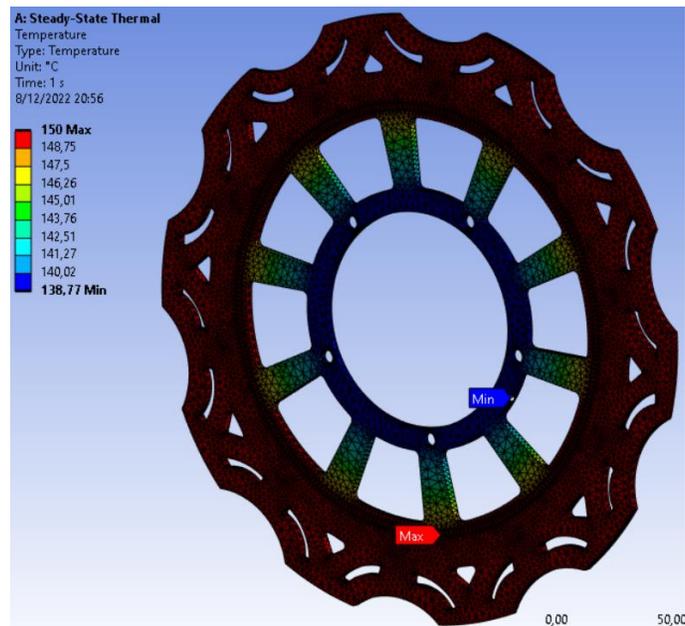
- Temperatura ambiente de 18 grados centígrados.
- La temperatura de trabajo del disco de freno será de 150 grados centígrados.
- Colocar las convecciones que afectaran al disco de freno.

Análisis térmicos.

- Temperatura

Como se aprecia en la figura 21, la temperatura máxima de frenado será de 150 °C, donde existe el contacto entre la pastilla y el disco de freno, luego de esto se observa que conforme se llega a la parte central la temperatura se va disipando por acción del contacto con el aire, hasta llegar a una temperatura mínima de 138.77 °C

Figura 21
Temperatura disco de freno



Fuente: Realizada por los autores.

Estructural estático.

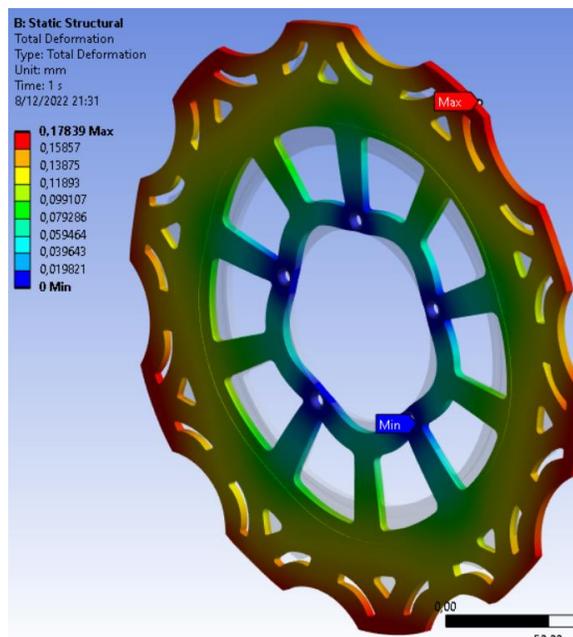
- Colocar los soportes.
- Aplicar una velocidad rotacional de 18 rad/s
- Colocar la presión que aplicaran las pastillas de freno al disco de freno.

Análisis estructural estático.

- Deformación total.

En este proceso se obtienen resultados claros en donde se observa la deformación en los exteriores del disco de freno son los que tendrán una mayor deformación la cual será de 0.178 mm, además la zona de fricción tendrá la segunda mayor deformación, estas dos deformaciones se deben a que, está parte del disco soporta la presión ejercida por las pastillas de freno.

Figura 22
Resultados deformación total

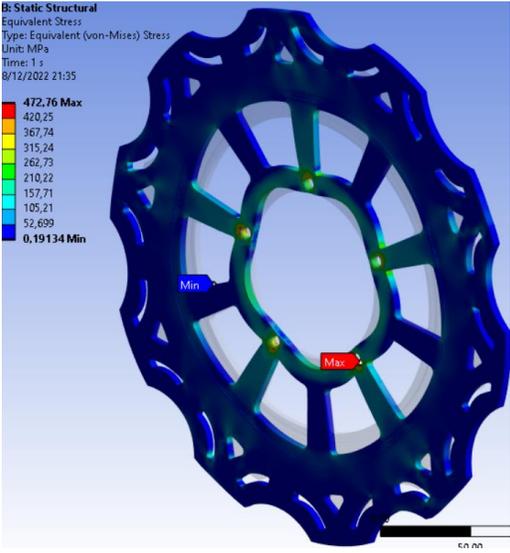


Fuente: Realizada por los autores.

- Equivalente de Von – Misses

El equivalente de Von – Misses muestra el mayor estrés que puede soportar el disco de freno en los puntos de apoyo, que estos puntos son fijos, por lo cual es importante considerar estos resultados al momento de realizar las pruebas dinámicas en la motocicleta.

Figura 23
Resultados tensión equivalente



Fuente: Realizada por los autores.

6. CAPITULO III: PRUEBAS DE FRENADO DINAMICAS

Es esta capitulo se logró analizar los valores y factores que brinden una mayor relevancia al estudio para determinar cuál de las diferentes pastillas de freno otorga una mayor eficiencia de frenado, para esto se realizó los siguientes pasos, el primero que se basa en la realización de las pruebas dinámicas y el segundo se planteara un diseño de experimento.

Para obtener los datos de la eficiencia de frenado de la motocicleta en pruebas dinámicas, se procede a realizar los experimentos según la normativa SAE J1263, que recomienda realizar las pruebas en superficies secas y rectas con velocidades menores a 113 Km/h. (J1263_201003: Road Load Measurement and Dynamometer - SAE International, n.d.)

A su vez en la normativa SAE J1263 nos explica el estado de los neumáticos, los instrumentos de medición calibrados y la temperatura ambiente para la realización de las pruebas (J1263_201003: Road Load Measurement and Dynamoaeter - SAE International, n.d.)

Para determinar el número de pruebas a considerar, nos basamos en la definición de la muestra estadística, que representa el número de elementos de la población. Presentamos este número con una población finita de elementos, lo que nos permite obtener un valor más cercano y definido, con lo cual se procede a realizar ocho pruebas en asfalto y seis en grava.

6.1 Procedimiento para obtener los resultados de la eficiencia de frenado en superficies de asfalto y grava

Teniendo en cuenta lo planteado para la ejecución del estudio se debe realizar el mantenimiento preventivo del sistema de frenos de la motocicleta para obtener los resultados, y así, garantizar la confiabilidad y resguardar la seguridad del conductor durante las pruebas.

- **Mantenimiento general del sistema de freno delantero.**

Para una correcta realización de las pruebas dinámicas, se debe tener en consideración el estado del sistema de frenos, en este proceso se debe revisar el estado de las cañerías de líquido de freno haciendo una inspección visual de que no existan fugas, que el disco y pastillas de freno sean nuevos y que no existan burbujas de aire dentro del sistema, actividades técnicas previas al inicio de las pruebas dinámicas.

Figura 24

Mantenimiento de la motocicleta.



Fuente: Realizada por los autores.

- **Comprobación del estado de los neumáticos.**

Se reviso visualmente el estado del neumático para verificar en qué condiciones esta la banda de rodadura, además se utilizó un calibrador para comprobar la profundidad que debe tener un mínimo de 2 mm de labrado según norma, en esta ocasión tenemos un labrado de 6 mm, considerando que está en buen estado para continuar con las pruebas.

Figura 25

Toma de profundidad de labrado de la rueda.



Fuente: Realizada por los autores.

- **Presión de los neumáticos.**

Se utilizó manómetro para verificar la presión de las llantas de acuerdo con las instrucciones del fabricante, la cual debe ser de 20 psi.

Figura 26

Revisión de la presión de los neumáticos.



Nota: Realizada por los autores.

Cabe señalar que esta medición se debe realizar con las llantas frías sin haber puesto en funcionamiento la motocicleta.

6.2 Pruebas de frenado

La realización de la prueba dinámica, se tomaron en cuenta que este estudio se realizara en carreteras de asfalto y grava que tienen un coeficiente de adherencia (μ) de 0.8 y 0.6 respectivamente como se aprecia en la tabla 3.

Se debe tener en consideración que la superficie asfáltica, permite una mayor apreciación de la distancia del frenado ya que no existirá deslizamiento del neumático, a su vez brinda la posibilidad de tener una buena estabilidad de la motocicleta al momento del frenado, ya que es una superficie con un buen coeficiente de adherencia. Es importante mencionar que en el camino de grava se tiene una menor adherencia y menor estabilidad.

Con estos parámetros se procede a realizar las pruebas correspondientes en las carreteras antes mencionadas para obtener los resultados del experimento y obtener los datos de la eficiencia de frenado. En cada prueba, la distancia de frenado se mide en el sistema Internacional y la temperatura en grados Celsius ($^{\circ}\text{C}$).

Figura 27

Parámetros de medición en carretera en asfalto



Fuente: Realizada por los autores.

6.3 Obtención de datos

El propósito de esta prueba es obtener las distancias y el tiempo de frenado, en el momento en que el sistema de freno se active por completo hasta que se detiene la motocicleta y determinar la temperatura del disco de freno después del frenado.

La primera toma de datos se realizó en la carretera de asfalto a una velocidad de 45 km/h (límite en zona urbana) con la que se obtuvo ocho datos de frenado con los tres tipos de pastillas de freno. La segunda prueba se llevó a cabo en la carretera de grava con una velocidad de 30 km/h por seguridad del conductor ya que en ese camino existía mucho deslizamiento del neumático al momento de frenar, lo que conllevó a obtener seis resultados de frenado.

En las siguientes tablas se aprecia los datos obtenidos de las pruebas realizadas con las distintas carreteras y pastillas de freno.

Tabla 9
Valores de frenado en asfalto con pastilla de freno de gama baja

Tiempo (Seg)	Temperatura °C	Distancia (m)
1.95	36	10
1.58	39.4	7.4
1.64	36.5	8.1
1.72	34.4	9.6
1.65	41.6	8.3
1.64	39.4	8.75
1.68	36.6	9.6
1.52	39.4	8.3

Nota. Resultados obtenidos en las pruebas de frenado en asfalto. *Fuente:* Realizada por los autores.

Tabla 10*Valores de frenado en asfalto con pastilla de freno de gama media*

Tiempo (Seg)	Temperatura °C	Distancia (m)
1.74	36	8.3
1.8	36.4	9.03
1.56	35.2	8.4
1.61	36.6	7.6
1.6	40.2	7.55
1.54	40.9	7.4
1.66	38.7	7.03
1.54	37.8	7.25

Nota. Resultados obtenidos en las pruebas de frenado en asfalto. *Fuente:* Realizada por los autores.**Tabla 11***Valores de frenado en asfalto con pastilla de freno de gama alta*

Tiempo (Seg)	Temperatura °C	Distancia (m)
1.8	36	9.85
1.71	36.8	9.7
1.61	36	7.55
1.53	41.4	7.15
1.48	36.3	7.55
1.45	40.8	6.85
1.37	40.6	5.7
1.17	40.2	4.62

Nota. Resultados obtenidos en las pruebas de frenado en asfalto. *Fuente:* Realizada por los autores.

Tabla 12*Valores de frenado en grava con pastilla de freno de gama baja*

Tiempo (Seg)	Temperatura °C	Distancia (m)
1.75	37.7	6.9
1.79	36	7.5
1.82	36	7.8
1.4	37.7	6.6
1.77	37.4	6
1.24	33.3	5.6

Nota. Resultados obtenidos en las pruebas de frenado en grava. *Fuente:* Realizada por los autores.

Tabla 13*Valores de frenado en grava con pastilla de freno de gama media*

Tiempo (Seg)	Temperatura °C	Distancia (m)
1.58	37.4	5.9
1.18	35.8	6
1.6	41	6.5
1.24	42.3	5.8
1.26	42.7	6.6
1.53	38.4	6.7

Nota. Resultados obtenidos en las pruebas de frenado en grava. *Fuente:* Realizada por los autores.

Tabla 14*Valores de frenado en grava con pastilla de freno de gama alta*

Tiempo (Seg)	Temperatura °C	Distancia (m)
1.01	38.5	4.5

1.22	37.7	5.1
1.1	40	4.65
1.09	41	4.75
1.48	38.2	5.05
1.34	40.8	5.4

Nota. Resultados obtenidos en las pruebas de frenado en grava. *Fuente:* Realizada por los autores.

6.4 Eficiencia de frenado.

Tomando en cuenta las ecuaciones antes señaladas se propuso calcular la eficiencia de frenado, y con esto obtener los respectivos valores de cada una de las gamas de pastillas de freno en los dos tipos de terrenos, a continuación, se muestran las respectivas tablas 15 y 16 con los resultados obtenidos.

Tabla 15
Valores de eficiencia de frenado en camino de asfalto

Asfalto						
	Tiempo	Velocidad Inicial	Velocidad final	Desaceleración	Gravedad	Eficiencia de frenado
Gama baja	1,67	12,5	0	-7,60	9,81	76,29
Gama media	1,63	12,5	0	-7,66	9,81	78,17
Gama alta	1,53	12,5	0	-8,16	9,81	83,82

Nota. Resultados obtenidos de la eficiencia de frenado en asfalto. *Fuente:* Realizada por los autores

Tabla 16
Valores de eficiencia de frenado en camino de asfalto

Grava						
	Tiempo	Velocidad Inicial	Velocidad final	Desaceleración	Gravedad	Eficiencia de frenado
Gama baja	1,63	8,33	0	-5,11	9,81	52,09
Gama media	1,4	8,33	0	-5,95	9,81	60,65
Gama alta	1,21	8,33	0	-6,88	9,81	70,17

Nota. Resultados obtenidos de la eficiencia de frenado en grava. *Fuente:* Realizada por los autores

Cabe mencionar que para estos cálculos se tomaron valores reales medidos durante las pruebas dinámicas en la motocicleta, a su vez como se observó en las tablas anteriores las pastillas de freno nos brindan una mejor eficiencia cuando se realiza las pruebas en asfalto ya que en ese tipo de terreno no se tiene deslizamiento del neumático al momento de accionar el freno.

6.5 Diseño experimental.

Considerando que las pruebas se realizaron en dos superficies diferentes y que esto produce una cantidad importante de variables, se harán dos diseños de experimentos (DOE), manteniendo las mismas variables, pero analizando los comportamientos diferentes que produce cada tipo de camino, cada uno de los diseños será con dos niveles y tres factores que son los siguientes: tipos de pastillas, la media del tiempo y la temperatura.

6.5.1 Variables del experimento.

Los factores involucrados para el estudio tienen la finalidad de encontrar la eficiencia de frenado, lo importante del experimento se indica en las siguientes tablas; cabe indicar, la tabla 17 y 18 nos expresan la nomenclatura, factores, niveles y valor en los terrenos de asfalto y de grava.

Tabla 17
Valores para el diseño factorial propuesto de grava.

Nomenclatura	Factores	Niveles	valor
A	Temperatura resultante	2	36.35 y 39.37 °C
B	Gama de pastillas	2; alta y baja	Catagórico
C	Tiempo	2	1.63 y 1.21 seg

Nota. Estructura de los factores involucrados y sus respectivos niveles en grava. *Fuente:* Realizada por los autores.

Tabla 18
Valores para el diseño factorial propuesto de asfalto.

Nomenclatura	Factores	Niveles	valor
A	Temperatura resultante	2	37.91 y 38.51 °C
B	Gama de pastillas	2; alta y baja	Catagórico
C	Tiempo	2	1.64 y 1.52 seg

Nota. Estructura de los factores involucrados y sus respectivos niveles en grava. *Fuente:* Realizada por los autores

6.5.1.1 Variables independientes

La variable independiente es fundamental para el diseño de experimentos. Para demostrar la validez del tratamiento, se realiza pruebas para demostrar que el diseño de experimento es fiable se toma dichas pruebas con el estudio ya planteado.

En este diseño de experimento se propuso tres variables independientes las cuales son:

- Tipos de pastillas
- La media del tiempo
- Temperatura

6.5.1.2 Variables dependientes.

La variable dependiente es el resultado del estudio del experimento de esta investigación, es lo que se busca demostrar en el diseño de experimentos, que va a ser modificada según las variables independientes.

En este diseño de experimento se propuso una variable dependiente la cual es:

- La eficiencia de frenado.

6.5.2 Hipótesis planteadas.

En los diseños de experimentos se plantean las hipótesis que generalmente son dos; la hipótesis nula (H_0) y la hipótesis alternativa (H_A).

La H_0 afirma que no existieron efectos significativos de la variable independiente sobre la dependiente, es decir que los resultados no variaron. La H_A afirma que si existieron diferencias entre los resultados al inicio y al final del experimento (Ramón, n.d.)

$$H_0: \text{La media de temperatura} = 0$$

H_A : La media de temperatura $\neq 0$

H_0 : Tipos de pastillas = 0

H_A : Tipos de pastillas $\neq 0$

H_0 : La media del tiempo = 0

H_A : La media del tiempo $\neq 0$

6.6 Diseño Factorial optimizado con superficies de respuesta.

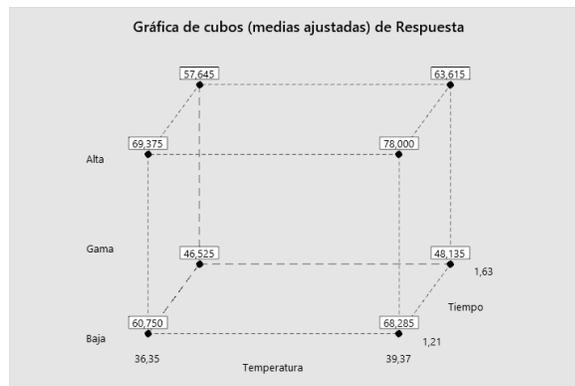
Para la realización del diseño de experimentos existen diferentes metodologías tales como la de diseño factorial, superficie de repuesta, Taguchi y mezcla, para lo cual se escogió utilizar los dos primeros métodos antes ya mencionados.

6.6.1 Representación geométrica.

La representación geométrica nos muestra el tamaño del experimento, lo cual nos va a permitir ver el diseño del mismo, estas representaciones están basadas en medias ajustadas que son los valores que se pronostica para cada combinación de las variables.

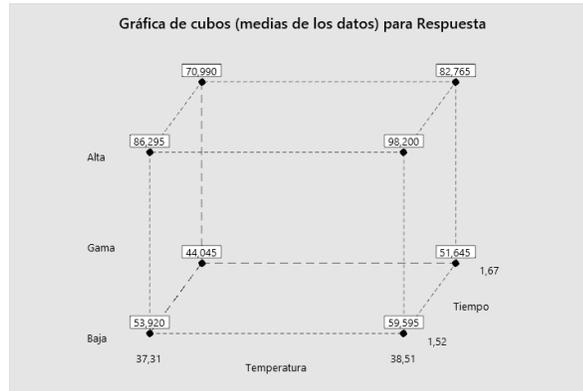
Figura 28

Representación geométrica en superficie de grava.



Fuente: Realizada por autores.

Figura 29
Representación geométrica en superficie de asfalto.



Fuente: Realizada por autores.

6.6.2 Representación de Yate,

Esta representación nos permitirá observar que combinaciones están presentes en el estudio y dar un primer vistazo de cuáles serían los efectos de mayor relevancia en el diseño experimental, como se observa a continuación para cada prueba realizada.

Tabla 19
Representación de YATE en superficie de grava.

Grava eficiencia				
Alias	Segunda Nomenclatura			Valor
I	-	-	-	60,65
A	+	-	-	68,47
B	-	+	-	69,6
AB	+	+	-	77,9
C	-	-	+	46,25
AC	+	-	+	47,97

BC	-	+	+	57,37
ABC	+	+	+	63,36

Nota: Se muestra la nomenclatura de YATE, con respectivos valores. *Fuente:* Realizado por autores.

Tabla 20
Representación de YATE en superficie de asfalto.

Asfalto eficiencia				
Alias	Segunda Nomenclatura			Valor
I	-	-	-	53,74
A	+	-	-	59,37
B	-	+	-	86,09
AB	+	+	-	98,77
C	-	-	+	43,54
AC	+	-	+	51,77
BC	-	+	+	70,78
ABC	+	+	+	83,28

Nota: Se muestra la nomenclatura de YATE, con respectivos valores. *Fuente:* Realizado por autores.

6.6.3 Valor crítico de estudio.

Para el valor crítico se considera el valor de F , que este es un valor de la distribución de F , este valor se utiliza para analizar qué factores son los que tienen mayor relevancia dentro del estudio, por lo tanto, esto nos permite ver que hipótesis es aceptada y cual es rechazada, este valor crítico sirve para ambos estudios ya que se tiene las mismas replicas y niveles en los dos DOE.

Tabla 21
Valor critico de estudio.

Valor critico F	
Grados de libertad del numerador (tratamientos-1)	2
Grados de libertad del denominador (número de corridas - tratamientos)	5
Nivel de confianza	0.95
Valor	5,79

Nota: En esta tabla se muestra los datos necesarios para calcular el valor critico de F.

Fuente: Realizado por los autores.

6.6.4 Regla de decisión.

Esta es la base de decisión para rechazar o aceptar las hipótesis del estudio, ya que para esto se toma en consideración el valor de F. La estructura de esta se dará de la siguiente manera:

Si Valor F > Valor crítico ∴ Se rechaza la H_0 y se acepta la H_A

Si Valor F < Valor crítico ∴ Se acepta la H_0 y se rechaza la H_A

6.6.5 Diseño planteado en el programa Minitab.

Para la implementación del software se usaron dos recursos de DOE tales como diseño factorial y Superficies de respuestas.

Figura 30

Resumen de los diseños factoriales.

Grava				Asfalto.			
Resumen del modelo				Resumen del modelo			
		R-cuad.	R-cuad.			R-cuad.	R-cuad.
<u>S</u>		<u>R-cuad. (ajustado)</u>	<u>(pred)</u>	<u>S</u>		<u>R-cuad. (ajustado)</u>	<u>(pred)</u>
0,295106	99,96%	99,92%	99,83%	0,507426	99,96%	99,93%	99,84%

Fuente: Realizada por los autores.

6.6.5.1 Análisis ANOVA.

La tabla ANOVA muestra las comparaciones entre las varianzas y las medias de los diferentes factores, y a su vez revela ya de una manera más clara cuales son los valores o los factores que más influyen dentro de la variable dependiente del estudio.

Figura 31

Tabla ANOVA diseño superficie de grava.

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	7	1606,12	229,445	2634,65	0,000
Lineal	3	1560,56	520,186	5973,14	0,000
Temperatura	1	140,90	140,897	1617,88	0,000
Gama	1	504,90	504,901	5797,63	0,000
Tiempo	1	914,76	914,760	10503,92	0,000
Interacciones de 2 términos	3	42,89	14,296	164,15	0,000
Temperatura*Gama	1	7,43	7,426	85,27	0,000
Temperatura*Tiempo	1	18,40	18,404	211,33	0,000
Gama*Tiempo	1	17,06	17,057	195,86	0,000
Interacciones de 3 términos	1	2,67	2,673	30,70	0,001
Temperatura*Gama*Tiempo	1	2,67	2,673	30,70	0,001
Error	8	0,70	0,087		
Total	15	1606,81			

Fuente: Realizada por los autores.

En la figura 31 podemos apreciar los valores de F y P, los cuales nos indican que para el caso de este estudio todos los factores son relevantes ya que ninguno está por debajo del valor crítico de F, ni tampoco superan un valor de 0.05 en el valor de P.

Figura 32
Tabla ANOVA diseño superficie de asfalto.

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	6	5163,78	860,63	2486,09	0,000
Lineal	3	5094,21	1698,07	4905,19	0,000
Tiempo	1	589,64	589,64	1703,28	0,000
Temperatura	1	341,42	341,42	986,25	0,000
Gama	1	4163,15	4163,15	12026,03	0,000
Interacción de 2 factores	3	69,57	23,19	66,99	0,000
Tiempo*Temperatura	1	0,81	0,81	2,33	0,161
Tiempo*Gama	1	41,70	41,70	120,46	0,000
Temperatura*Gama	1	27,07	27,07	78,19	0,000
Error	9	3,12	0,35		
Falta de ajuste	1	1,06	1,06	4,10	0,077
Error puro	8	2,06	0,26		
Total	15	5166,90			

Fuente: Realizada por los autores.

En la figura 32 se puede apreciar que la interacción tiempo con la temperatura están por debajo del valor crítico de F y por encima del valor de P, lo cual nos indica que esta interacción no influye de sobremanera en la eficiencia de frenado.

6.6.5.2 Hipótesis aceptadas.

Si Valor F < 5.78 ∴ Se rechaza la H₀ y se acepta la H_A

Si Valor F > 5.78 ∴ Se rechaza la H₀ y se acepta la H_A

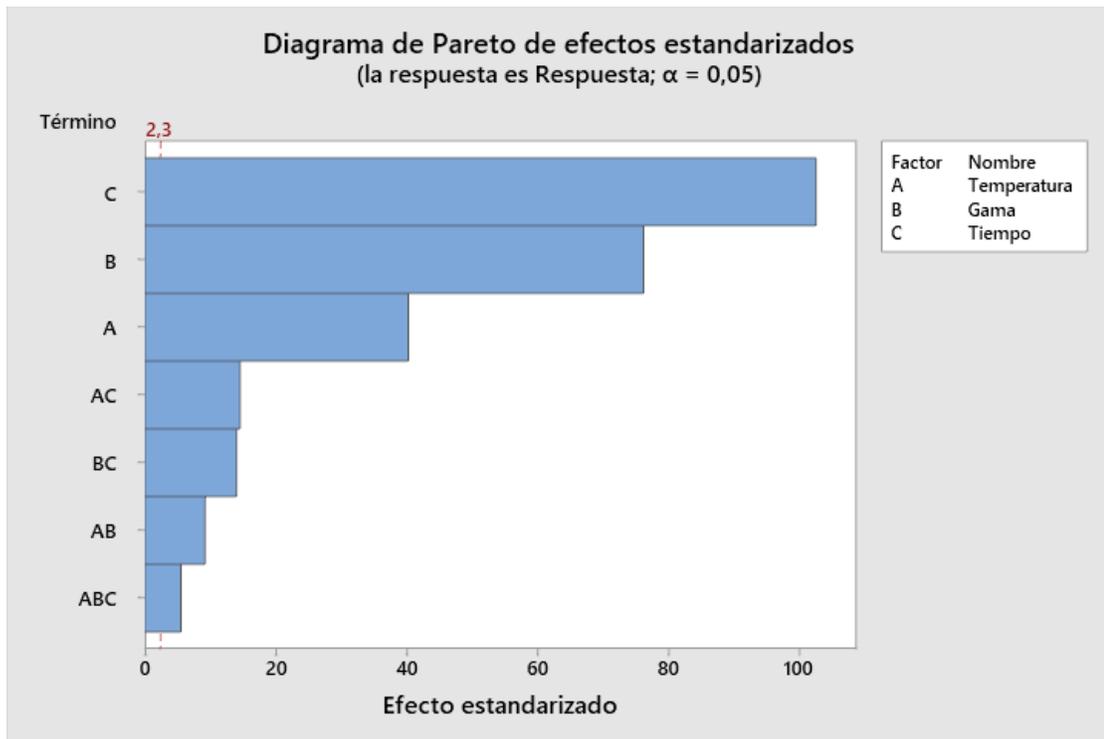
Esto quiere decir que confirmamos estadísticamente que las medias de nuestros factores son diferentes de cero.

6.6.5.3 Factores relevantes

Estos factores son los que tienen una mayor importancia en el estudio, ya que estos brindan una relevancia mayor en la obtención de la eficiencia de frenado, a continuación, se mostrara las variables más importantes en los dos tipos de terreno.

Figura 33

Factores relevantes en camino de grava.

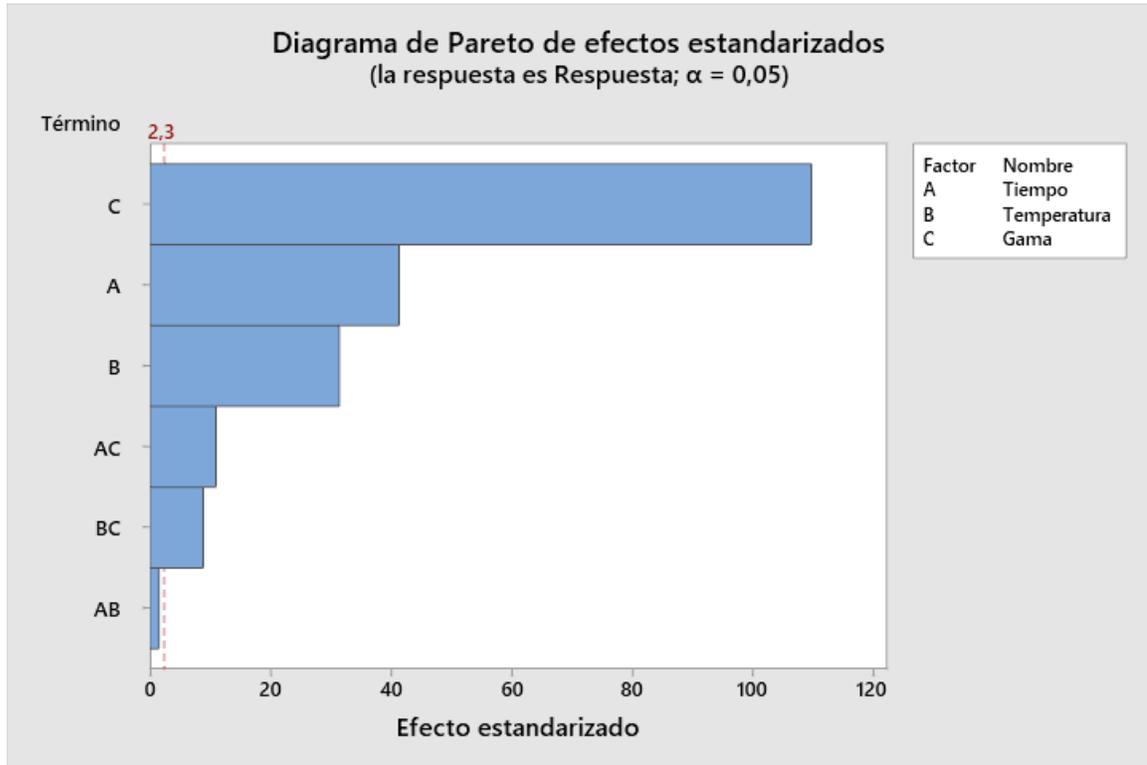


Fuente: En esta grafica se observa el diagrama de Pareto, que indica cual es el factor más relevante. *Fuente:* Realizada por los autores.

Como se aprecia en el diagrama de Pareto para el estudio en superficie de grava, todos los factores son importantes para el estudio de la eficiencia de frenado, aunque los más relevantes son el tiempo y las gamas de las pastillas, a su vez las interacciones de estos también marcan un punto importante de estudio.

Figura 34

Factores relevantes en camino de asfalto.



Fuente: Realizada por los autores.

En el diagrama de Pareto para el estudio en superficie de asfalto, todos los factores son importantes para el experimento de la eficiencia de frenado, el más relevante siendo la gama de las pastillas de freno, a su vez las interacciones de estos también marcan un punto destacable del estudio, a excepción del tiempo - temperatura.

6.6.5.4 Graficas de comportamiento del experimento.

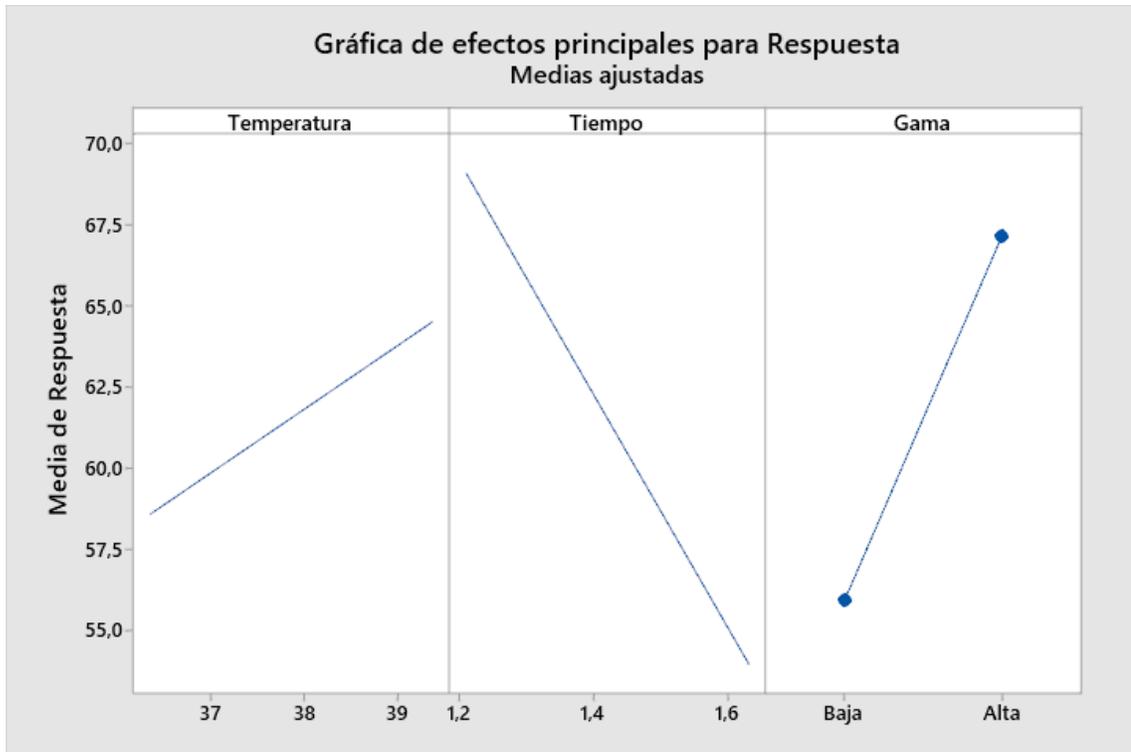
En base al diseño de experimento se crean algunas graficas que explican el comportamiento de los efectos y sus interacciones, esto a su vez permite un mayor entendimiento de lo que pasa en el DOE, por lo que las gráficas a analizar de los dos estudios son las siguientes:

- Grafica de efectos principales para respuesta.

- Grafica de interacción para respuesta.
- Grafica de contorno de respuesta.
- Grafica de superficie de respuesta.

Figura 35

Grafica de efectos principales en superficie de grava.

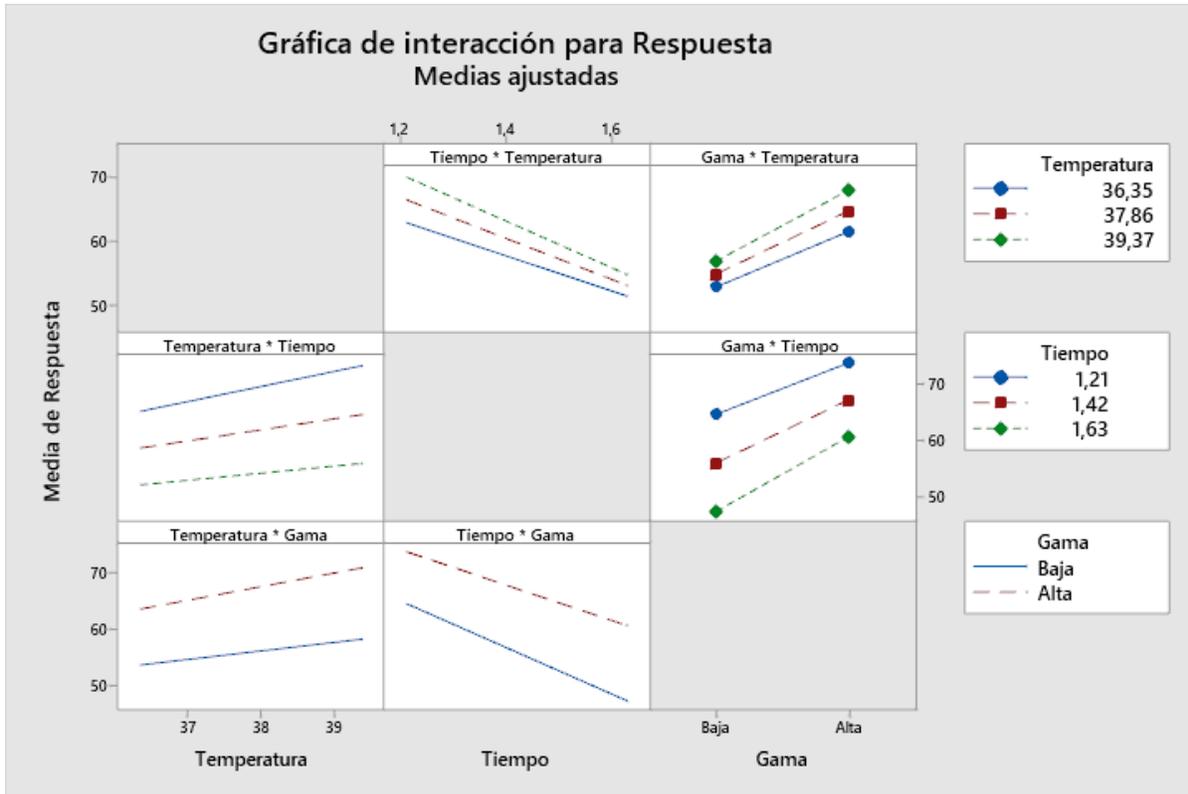


Fuente: Realizada por los autores.

En esta grafica se puede apreciar que a mayor temperatura existe un aumento de la eficiencia de frenado, tomando en consideración que la temperatura máxima en la que se realizó la prueba fue de 39 °C, así mismo conforme menor sea el tiempo de frenado y mientras sea una gama de pastilla alta, sube de manera exponencial la eficiencia.

Figura 36

Grafica de interacción para respuesta en superficie de grava.



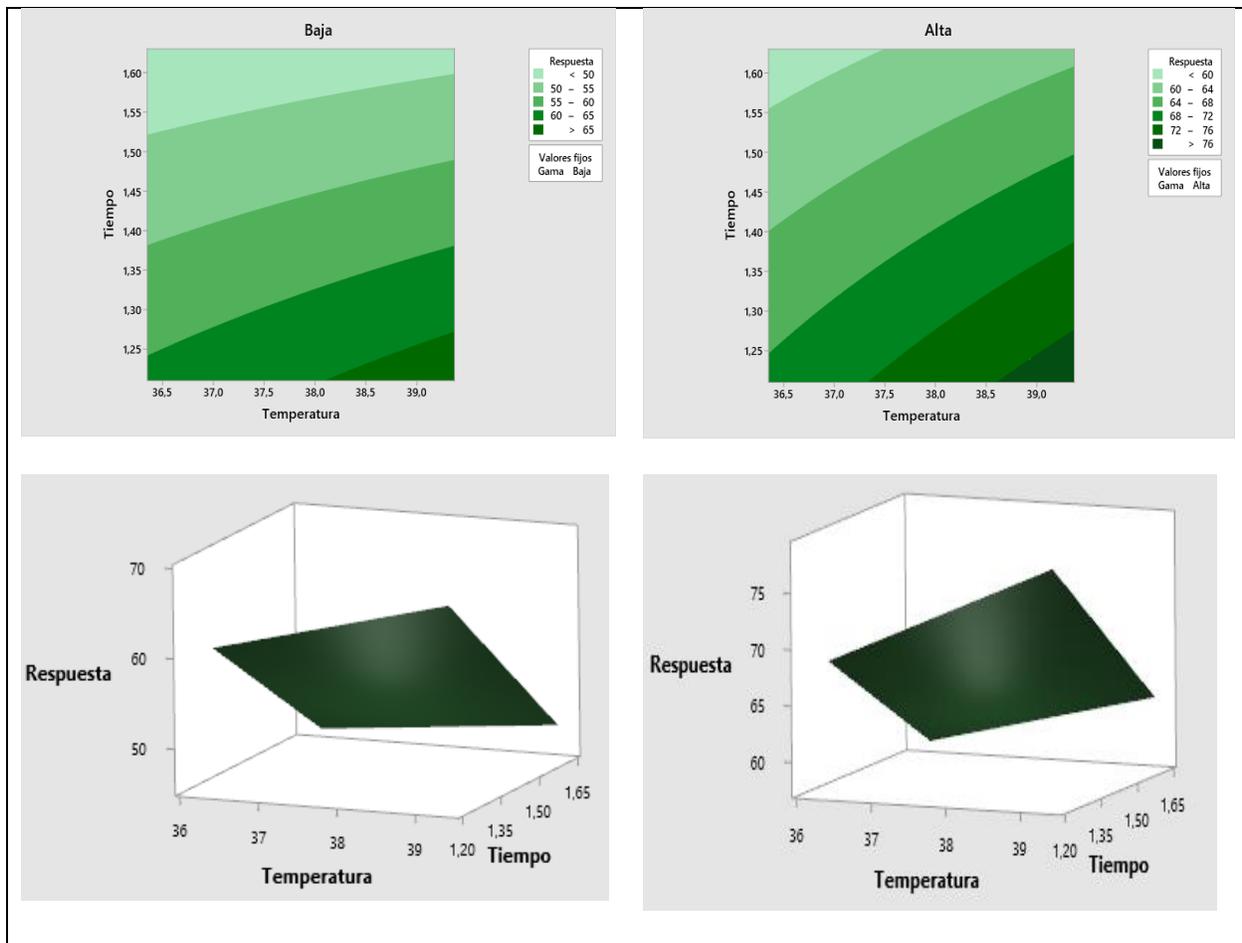
Fuente: Realizada por los autores.

Como se puede apreciar en la gráfica, los factores que más interactúan son tiempo - temperatura, gama de pastillas - temperatura, ya que existe una intersección entre sus líneas de proyección, a diferencia de las otras interacciones que sus líneas tienden a ser más paralelas entre sí.

Figura 37

Gráfica de contorno y superficie de respuesta en superficie de grava.



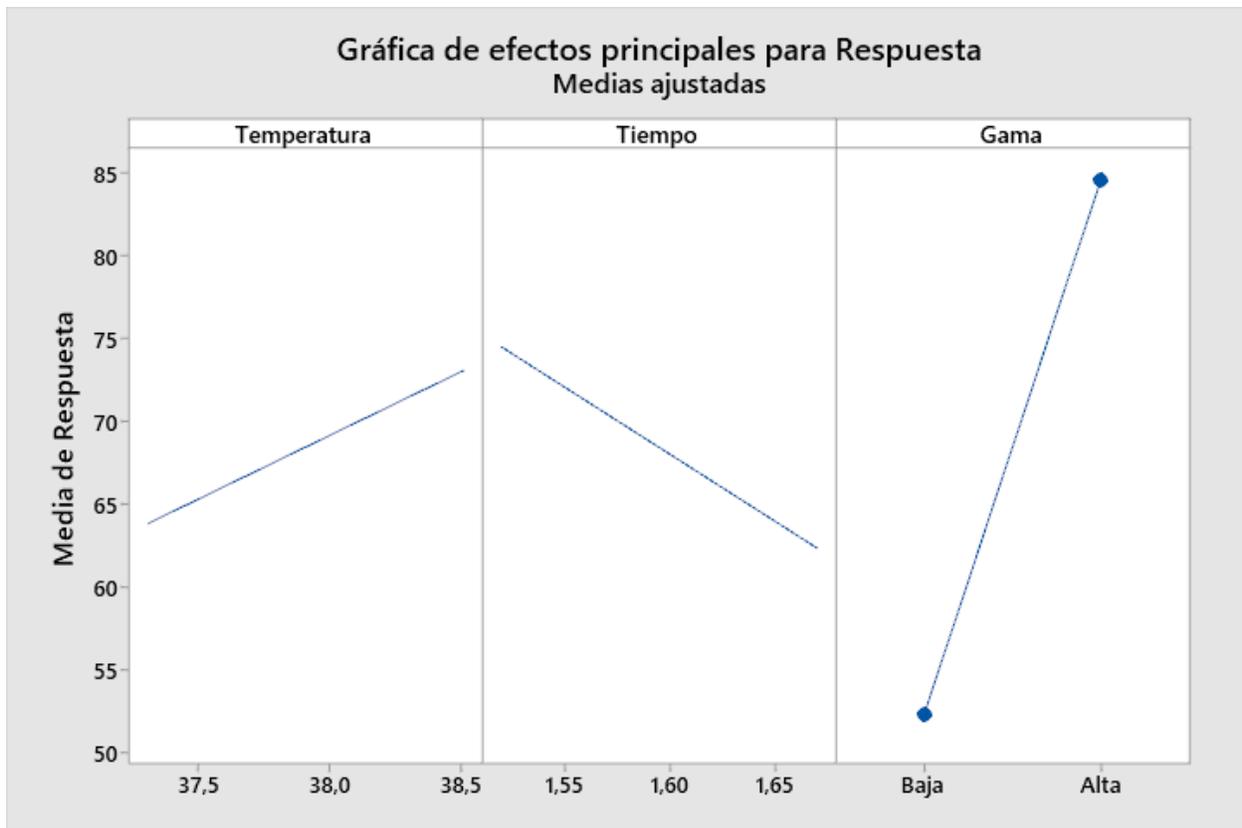


Fuente: Realizada por los autores.

Las gráficas de contorno y superficie de respuesta muestran que para las pastillas de gama baja a una temperatura de 38 °C hasta los 39.5 °C y con tiempos menores de 1.27 seg, se obtiene una eficiencia de frenado mayor al 65%, caso contrario con la pastilla de gama alta la cual evidencia a una temperatura de 38.5 °C hasta los 39.5 °C y con un tiempo inferior de 1.27 seg. la eficiencia de frenado mayor al 76%, cabe recalcar que la gama alta brindara un 60% de eficiencia así esta se encuentre en temperaturas más bajas 36.5 y tiempos altos hasta 1.60 seg.

Figura 38

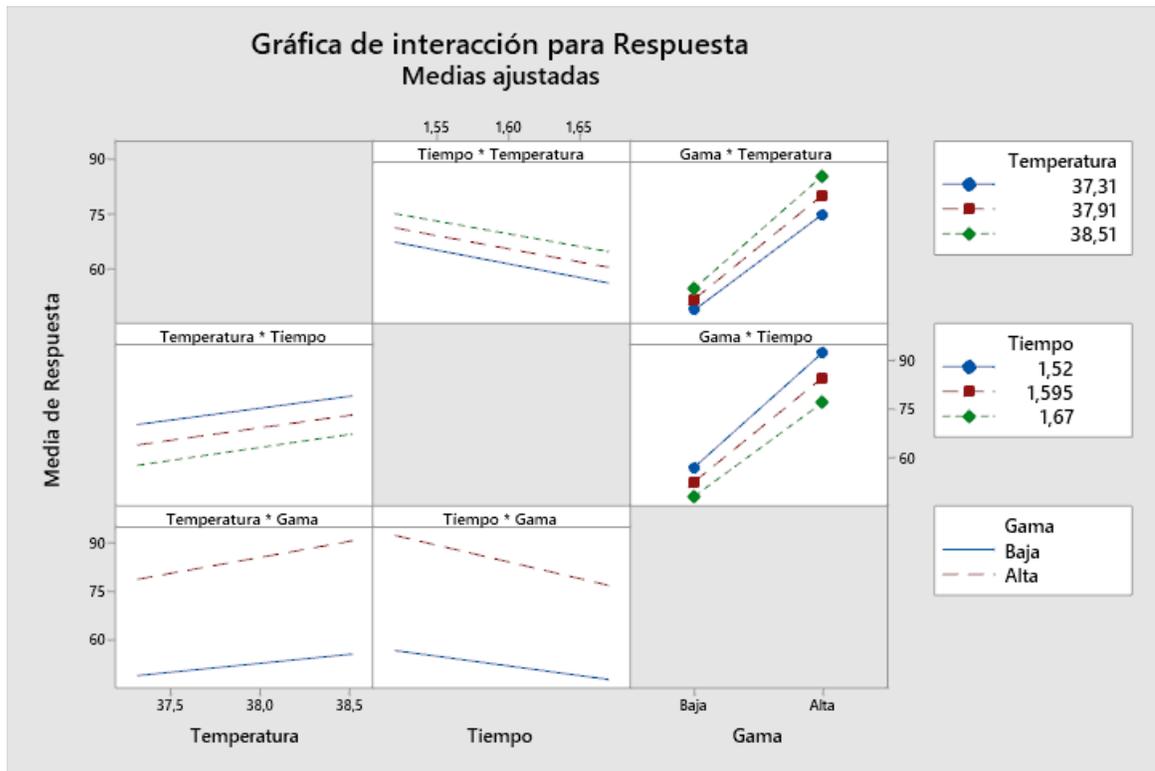
Grafica de efectos principales en superficie de asfalto.



Nota: Esta grafica nos muestra los efectos el comportamiento de los efectos dentro del diseño de experimento. *Fuente:* Realizada por los autores.

La grafica de efectos principales para respuesta muestra que el factor de temperatura brinda una mayor eficiencia a una mayor temperatura, en el caso del estudio fue de 37.5 °C a 38.5 °C, así mismo mientras menor sea el tiempo y se use una pastilla de gama alta, se obtendrá la mejor eficiencia de frenado en el sistema, tomando en consideración que tercer factor es el más relevante dentro del estudio.

Figura 39
Grafica de interacción para respuesta en superficie de asfalto.



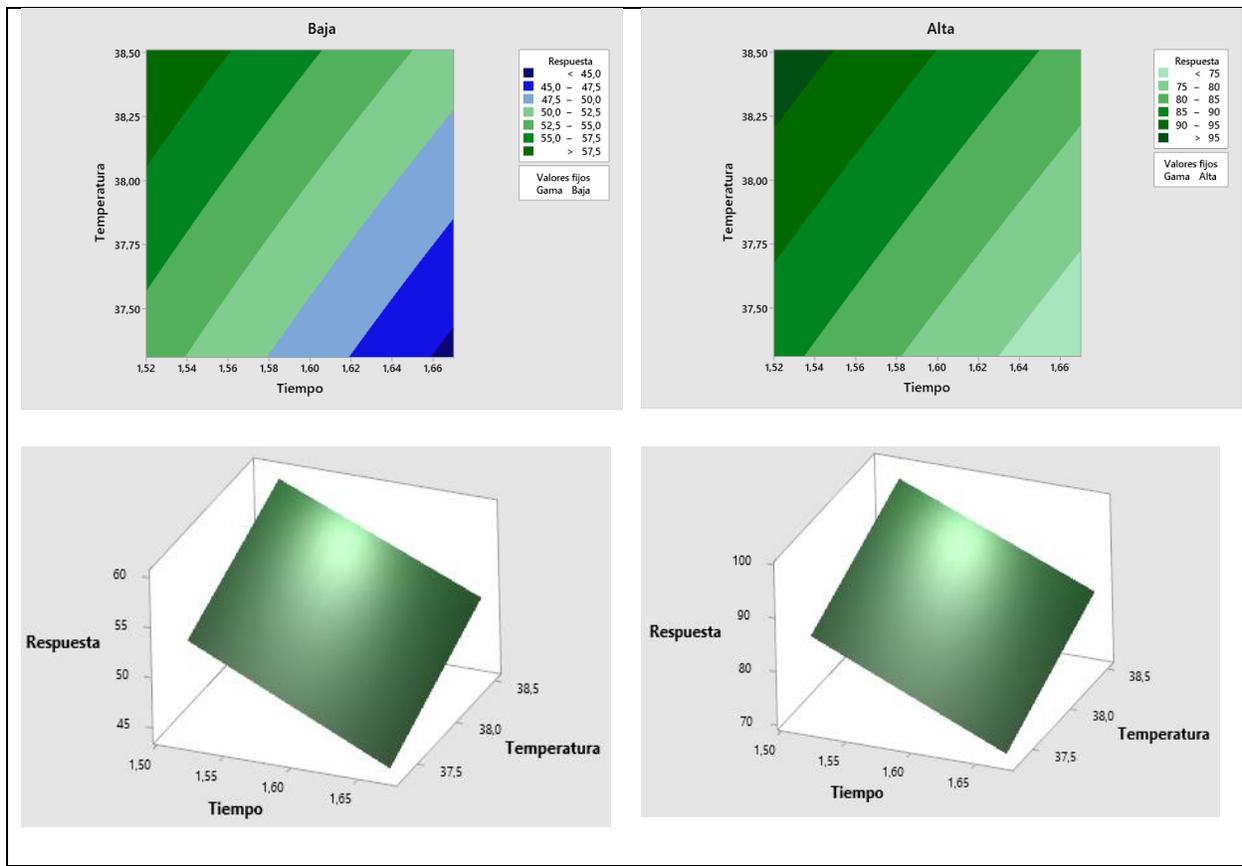
Fuente: Realizada por los autores.

En la gráfica de interacción para respuesta, nos muestra que las interacciones de gama - temperatura, gama - tiempo, son las de mayor relevancia para el estudio ya que sus líneas tendrán una intersección, a diferencia de los otros efectos que sus líneas tienen un comportamiento más paralelo entre sí.

Figura 40

Gráfica de contorno y superficie de respuesta en superficie de asfalto.





Fuente: Realizada por los autores.

La grafica de contornos y superficie de respuesta para las pruebas realizadas en la superficie de asfalto, muestran que con la gama baja a menor tiempo y mayor temperatura se obtendrá una eficiencia de 57.5%, a su vez para la gama alta se observa que, con las mismas condiciones de mayor temperatura y un menor tiempo, se obtiene una eficiencia de 95%, aunque se aprecia que las pastillas de gama alta ofrecen un porcentaje mínimo de 75% indiferentemente de las condiciones.

7. Conclusiones y recomendaciones.

7.1 Conclusiones.

En la presente investigación se estudió sobre el sistema de freno y la eficiencia de frenado con la finalidad de analizar cuáles son los factores influyentes, por lo que, para realizar dicho análisis, se debe de considerar diferentes parámetros, tales como, los efectos que produce la temperatura sobre los discos de freno, las cargas existentes al momento del frenado, el tiempo que se demora en detenerse la motocicleta y la gama de pastillas a utilizar. También se debe tener en cuenta que durante la investigación se encontró todos los lineamientos de la normativa SAE J1263 ya que esta brinda todas las recomendaciones e instrucciones para la correcta realización de las pruebas dinámicas, este experimento muestra datos utilizados en el cálculo de la eficiencia de frenado.

Se utilizó programas CAD y CAE, para el diseño y la realización de las pruebas computacionales del disco de freno delantero, por lo que se obtuvo diferentes valores que son importantes, tales como la deformación total que da un valor de 0.178 mm en la parte exterior del disco de freno, el esfuerzo de Von Mises que presenta un valor máximo de 472.26 Mpa en los puntos de sujeción, a su vez la temperatura máxima que se producirá en la zona de contacto entre el disco y pastilla de freno, la misma que se ira disipando conforme avanza hacia el centro del disco de freno.

En base a las pruebas dinámicas realizadas en la superficie de grava se obtienen diferentes distancias de frenado entre las gamas de pastillas, tal es así que entre la gama baja y alta existe una diferencia de 1.82 m y de 0.42 segundos, de la misma manera en las pruebas en asfalto se obtiene una diferencia de 1.39 m y de 0.152 segundos, los cuales son valores significativos; de igual forma con los resultados obtenidos en el diseño de experimentos en el terreno de grava se obtiene que los

valores más relevantes son el tiempo y la gama de pastilla, para el camino de asfalto son la gama de pastilla y el tiempo; por otro lado se observa que para la mejor eficiencia de frenado se necesita una temperatura optima de funcionamiento, un tiempo bajo y una gama de pastillas alta.

7.2 Recomendaciones.

Para la correcta realización de las pruebas dinámicas es recomendable utilizar discos y pastillas de freno nuevas, así también el hacer un correcto mantenimiento preventivo del sistema de freno antes del experimento.

Se recomienda realizar el estudio en diferentes regiones teniendo presente que, la temperatura ambiente, la humedad y el viento pueden incidir en los valores de la eficiencia de frenado.

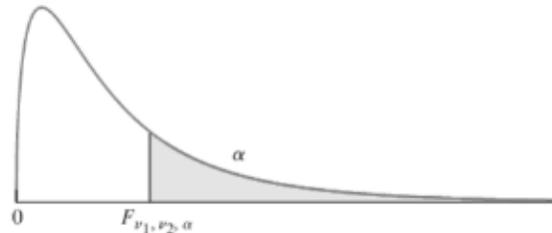
Las pruebas pueden ser realizadas con temperaturas de fricción más altas en el disco de freno y así comprobar a que temperatura de funcionamiento se empieza a perder la eficiencia de frenado por los efectos de fading, judder y efecto de cristalización.

8. Anexos.

8.1 Anexos.

APÉNDICE A Tablas

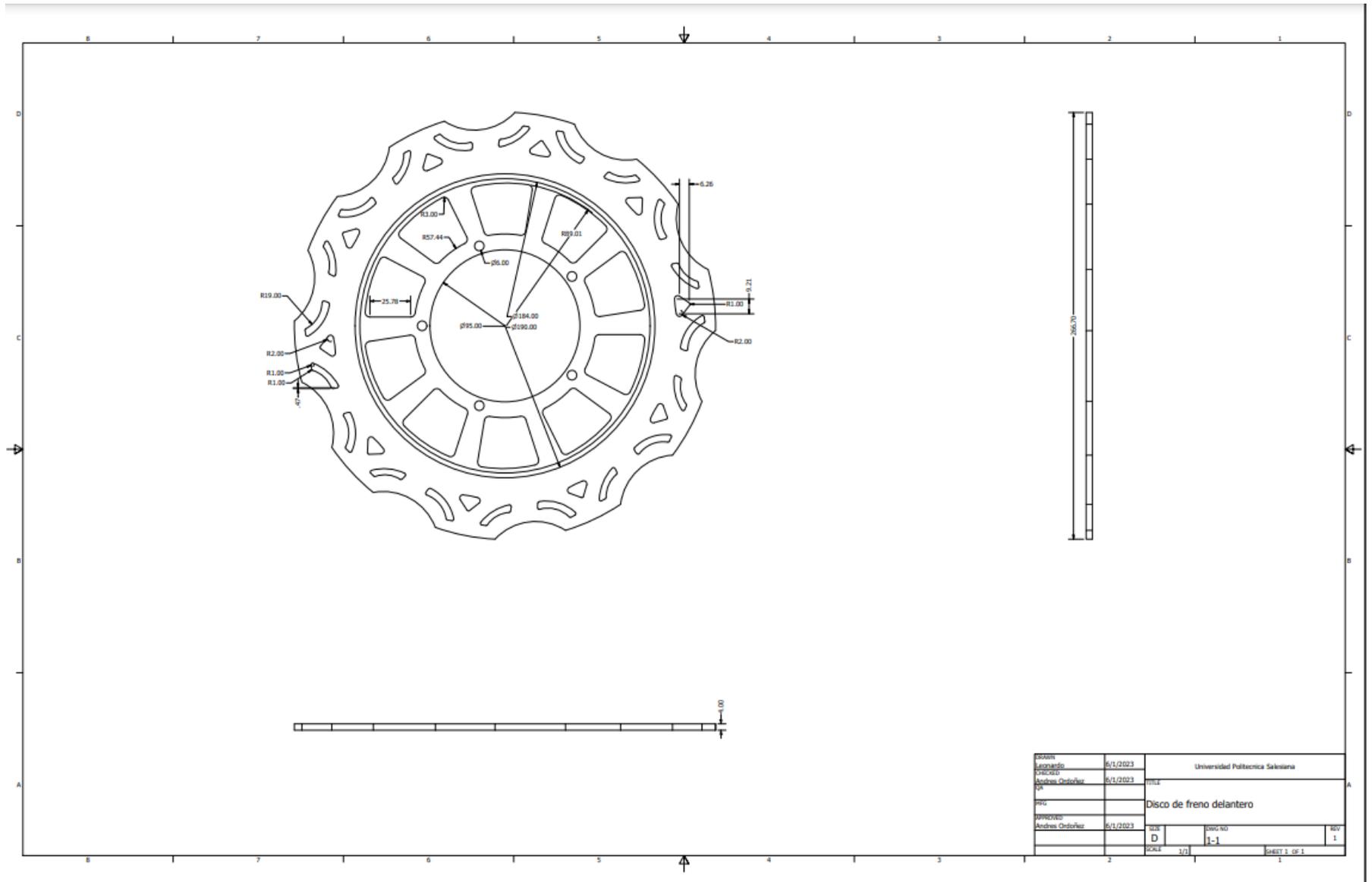
TABLA A.7 Puntos porcentuales superiores para la distribución F



v_2	α	v_1								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0.100	39.86	49.50	53.59	55.83	57.24	58.20	58.91	59.44	59.86
	0.050	161.45	199.50	215.71	224.58	230.16	233.99	236.77	238.88	240.54
	0.010	4052.18	4999.50	5403.35	5624.58	5763.65	5858.99	5928.36	5981.07	6022.47
	0.001	405284	500012	540382	562501	576405	585938	592874	598144	603040
2	0.100	8.53	9.00	9.16	9.24	9.29	9.33	9.35	9.37	9.38
	0.050	18.51	19.00	19.16	19.25	19.30	19.33	19.35	19.37	19.38
	0.010	98.50	99.00	99.17	99.25	99.30	99.33	99.36	99.37	99.39
	0.001	998.50	999.00	999.17	999.25	999.30	999.33	999.36	999.37	999.39
3	0.100	5.54	5.46	5.39	5.34	5.31	5.28	5.27	5.25	5.24
	0.050	10.13	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81
	0.010	34.12	30.82	29.46	28.71	28.24	27.91	27.67	27.49	27.35
	0.001	167.03	148.50	141.11	137.10	134.58	132.85	131.58	130.62	129.86
4	0.100	4.54	4.32	4.19	4.11	4.05	4.01	3.98	3.95	3.94
	0.050	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00
	0.010	21.20	18.00	16.69	15.98	15.52	15.21	14.98	14.80	14.66
	0.001	74.14	61.25	56.18	53.44	51.71	50.53	49.66	49.00	48.47
5	0.100	4.06	3.78	3.62	3.52	3.45	3.40	3.37	3.34	3.32
	0.050	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77
	0.010	16.26	13.27	12.06	11.39	10.97	10.67	10.46	10.29	10.16
	0.001	47.18	37.12	33.20	31.09	29.75	28.83	28.16	27.65	27.24
6	0.100	3.78	3.46	3.29	3.18	3.11	3.05	3.01	2.98	2.96
	0.050	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10
	0.010	13.75	10.92	9.78	9.15	8.75	8.47	8.26	8.10	7.98
	0.001	35.51	27.00	23.70	21.92	20.80	20.03	19.46	19.03	18.69
7	0.100	3.59	3.26	3.07	2.96	2.88	2.83	2.78	2.75	2.72
	0.050	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68
	0.010	12.25	9.55	8.45	7.85	7.46	7.19	6.99	6.84	6.72
	0.001	29.25	21.69	18.77	17.20	16.21	15.52	15.02	14.63	14.33
8	0.100	3.46	3.11	2.92	2.81	2.73	2.67	2.62	2.59	2.56
	0.050	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39
	0.010	11.26	8.65	7.59	7.01	6.63	6.37	6.18	6.03	5.91
	0.001	25.41	18.49	15.83	14.39	13.48	12.86	12.40	12.05	11.77
9	0.100	3.36	3.01	2.81	2.69	2.61	2.55	2.51	2.47	2.44
	0.050	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18
	0.010	10.56	8.02	6.99	6.42	6.06	5.80	5.61	5.47	5.35
	0.001	22.86	16.39	13.90	12.56	11.71	11.13	10.70	10.37	10.11

Continúa en la página 777

8.2 Anexo 2 Lamina disco de freno delantero.



9. Bibliografía.

4 DINÁMICA DE UNA MOTOCICLETA 4.1 SQUAT Y HUNDIMIENTO 4.1.1 TRANSFERENCIA DE CARGA. (n.d.).

Antonio, B. (2020). *TRABAJO FINAL DE GRADO MOTOCICLETA PARA CIRCULACIÓN EN CARRETERA*. <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/151746/Diez%20-%20Dise%C3%B1o%20del%20sistema%20de%20frenado%20de%20una%20motocicleta%20para%20circulaci%C3%B3n%20en%20carretera.pdf?sequence=1>

Bauzá Fernández, F. J. (2018). *Estudio del sistema de frenado en vehículos ligeros (turismos)*. <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/113326>

Campoverde, Q., Pablo, J., Catota, Q., & Efrain, E. (2017). *Diseño y construcción de un frenómetro para determinar la eficiencia del frenado en motocicletas según la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2558*. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/6717>

Chavan, C. B., More, A. S., Patil, N. N., & P, B. (2018). Static structural and thermal analysis of brake disc with different cut patterns. *Journal of Applied Research and Technology*, 16(1). <https://doi.org/10.22201/ICAT.16656423.2018.16.1.702>

Cristalización y desgaste prematuro de pastillas de freno – Kashima System. (n.d.). Retrieved December 28, 2022, from <https://kashimasystem.com/cristalizacion-y-desgaste-prematuro-de-pastillas-de-freno/>

Diez Berja, J. A. (2020). *Diseño del sistema de frenado de una motocicleta para circulación en carretera*. <https://riunet.upv.es:443/handle/10251/151746>

EMOV EP. (2022). *Oficio EMOV*. 1–1.

Física y los Frenos del Autmóvil – TECMA. (n.d.). Retrieved October 23, 2022, from <https://www.tecma.edu.gt/fisica-y-los-frenos-del-autmovil/>

Garcés Nieto Roberto. (2022, February 3). *Motos que se vendieron en Ecuador durante el 2021.* Motos Se Vendieron En Ecuador Durante El 2021. <https://www.motociclismo.ec/post/164-551-motos-se-vendieron-en-ecuador-durante-el-2021>

Heisler, H. (2002). Brake system. *Advanced Vehicle Technology*, 450–509. <https://doi.org/10.1016/B978-075065131-8/50012-9>

ITALIKA. (n.d.). *Cual es la manera correcta de frenar en moto.* Retrieved November 19, 2022, from <https://www.italika.mx/MundoITK/Cual-es-la-manera-correcta-de-frenar-en-moto/>

J1263_201003: Road Load Measurement and Dynamometer Simulation Using Coastdown Techniques - SAE International. (n.d.). Retrieved December 17, 2022, from https://www.sae.org/standards/content/j1263_201003/

Kim, D. J., Seok, C. S., Koo, J. M., We, W. T., Goo, B. C., & Won, J. I. (2010). Fatigue life assessment for brake disc of railway vehicle. *Fatigue and Fracture of Engineering Materials and Structures*, 33(1), 37–42. <https://doi.org/10.1111/J.1460-2695.2009.01412.X>

Majenta Solutions. (2014). *Simulation Tips - Autodesk Inventor 2014 - YouTube.* <https://www.youtube.com/watch?v=zuAQ-4kHng>

Manual de pilotaje de motocicleta de José González Tortosa (Dr. Infierno) – Seguridad en moto. (n.d.). Retrieved October 31, 2022, from <https://poluxcriville.blog/2009/01/08/manual-de-pilotaje-de-motocicleta-de-jose-gonzalez-tortosa-dr-infierno/>

Moncayo Ortiz, L. F. (2004). *Cálculo y análisis dinámico del automóvil durante su desplazamiento en carretera*. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/1132>

(PDF) *THREE-DIMENSIONAL SIMULATION OF THERMAL STRESSES IN DISCS DURING AN AUTOMOTIVE BRAKING CYCLE*. (n.d.). Retrieved November 28, 2022, from https://www.researchgate.net/publication/336835787_THREE-DIMENSIONAL_SIMULATION_OF_THERMAL_STRESSES_IN_DISCS_DURING_A_N_AUTOMOTIVE_BRAKING_CYCLE

Que es el judder | Mecánica de autos. (n.d.). Retrieved December 28, 2022, from <https://mecanicaautomotores.blogspot.com/2014/06/que-es-el-judder.html>

Ramón, G. (n.d.). *Diseños experimentales Apuntes de clase del curso Seminario Investigativo VI Por*.

REGLAMENTO A LEY DE TRANSPORTE TERRESTRE TRANSITO Y SEGURIDAD VIAL. (n.d.). Retrieved December 17, 2022, from www.lexis.com.ec

Sanz Gonzales, A. (2009). *Tecnología de Automocion (2ª Edicion ed.)*. (EDEBE, Ed.; (5ª Edicion ed.)).

Symetri UK. (2011). *Autodesk Inventor Overview - What is Autodesk Inventor? - YouTube*. <https://www.youtube.com/watch?v=NXk73lsusAk>

Vélez Tobar, P. G. (2016). *Implementación de un sistema de frenado ABS en una motocicleta Honda Invicta CBF150M*. <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/5576>