



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**  
**SEDE GUAYAQUIL**  
**CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**ANÁLISIS DINÁMICO DE UN DISCO DE FRENO EN UN VEHÍCULO CHEVROLET  
AVEO EMOTION 1.6 PARA EL MEJORAMIENTO DE SISTEMA DE FRENADO**

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

**AUTORES: EDNWING FABRICIO AMAGUAYA VILLAVICENCIO**

**CÉSAR ANDRÉS MORENO HERNANDEZ**

**TUTOR: Ing. ANDRÉS ESTEBAN ORDOÑEZ SEGARRA Msc.**

Guayaquil – Ecuador

2022

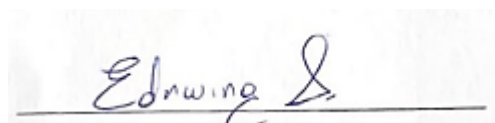
## CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Ednwing Fabricio Amaguaya Villavicencio, con documento de identificación N° 0954120002 y César Andrés Moreno Hernández con documento de identificación N° 0931270573 manifiesto que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizo 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.

Guayaquil, 25 de febrero del año 2022

Atentamente,



Ednwing Fabricio Amaguaya Villavicencio

0954120002



César Andrés Moreno Hernández

0931270573

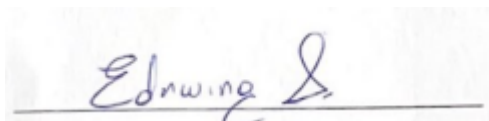
**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE  
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, Ednwing Fabricio Amaguaya Villavicencio con documento de identificación No. 0954120002 y César Andrés Moreno Hernández con documento de identificación N° 0931270573, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Proyecto Técnico: “Análisis dinámico de un disco de freno en un vehículo Chevrolet Aveo Emotion 1.6 para el mejoramiento de sistema de frenado”, 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, suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 25 de febrero del año 2022

Atentamente,



Ednwing Fabricio Amaguaya Villavicencio

0954120002



César Andrés Moreno Hernández

0931270573

## **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 DINÁMICO DE UN DISCO DE FRENO EN UN VEHÍCULO CHEVROLET AVEO EMOTION 1.6 PARA EL MEJORAMIENTO DE SISTEMA DE FRENADO, realizado por Ednwing Fabricio Amaguaya Villavicencio con documento de identificación N° 0954120002 y César Andrés Moreno Hernández con documento de identificación N° 0931270573, 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.

Guayaquil, 25 de febrero del año 2022

Atentamente,



Ing. Andrés Esteban Ordoñez Segarra Msc.

0103567863

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo a Dios y a los pilares fundamentales de mi vida mis padres: Cesar Felipe Moreno y Mónica Hernández y mis hermanos Felipe y Kevin Moreno y mi primo Cesar Rocafuerte por ser esa guía, por ayudarme a seguir adelante sin desfallecer.

A mis abuelos, mis tíos y mi primo que gracias a sus apoyos incondicional y que siempre han estado pendiente en mi desarrollo profesional.

Cesar Moreno H

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo a Dios y a mis padres: Fanny Villavicencio y William Amaguaya porque han sido para mí un pilar fundamental durante estos años de mi carrera por haberme apoyado y por el consejo que nunca ha faltado en cada paso de mi vida.

A mis abuelitos que me apoyaron con sus sabios consejos, a mis tíos que han estado al pendiente en todo el transcurso de mi carrera profesional.

Ednwing Amaguaya

## AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios en primer lugar, luego a mis familiares, padres, novia y amigos por ser pilares fundamentales en mi vida y de ayudarme con este proceso académico y poder culminar mi carrera universitaria

Agradezco de manera especial al Ing. Andrés Ordoñez como tutor y a la Doc. Mary Vergara como asesora por el desarrollo y la paciencia para que esta tesis sea un éxito.

De forma general agradezco a la directiva que conforma ingeniería automotriz, quienes fueron nuestros mentores de cada semestre compartiéndonos su conocimiento de manera profesional.

César Moreno H

## AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por darme la oportunidad de culminar esta etapa de mi vida y llenarme de sabiduría e inteligencia en cada uno de los periodos académicos, y de fortalecerme día tras día para poder culminar esta carrera profesional.

De manera especial a la Doctora Mary Vergara y al Ing. Andrés Ordoñez quienes han apoyado en el desarrollo y guía de este proyecto, gracias por sus indicaciones y consejos.

Agradezco al Ing. Felipe Moreno Torres por brindarnos su experiencia en el área automotriz, además de darnos un espacio en su taller para poder realizar las practicas necesaria para este proyecto

A los directivos y personal docente de la carrera de Ingeniería Automotriz de la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil, quienes fueron parte de mi formación académica compartiendo sus conocimientos y experiencias.

Ednwing Amaguaya



## RESUMEN

El sistema de frenos de un automóvil es uno de los dispositivos de seguridad activa, es por ello que este debe trabajar de forma segura y predecible ante cualquier circunstancia. Los discos de freno, son los encargados de disipar el calor mediante el proceso de transferencia de calor por convección entre masas a diferentes temperaturas. La presión necesaria que se debe emplear para lograr desacelerar el vehículo, se obtiene mediante dispositivos que aumenten la presión inicial ejercida por el conductor. Es por ello, que el objetivo de este proyecto es lograr establecer una comparación entre un disco de freno original y un disco de freno alternativo mediante pruebas y análisis experimentales de ruta.

Para ello se empleará como herramienta de medición y simulación con el objetivo de visualizar la temperatura alrededor del disco, la velocidad del viento y la distancia de frenado. Hay que tener en cuenta, además, las propiedades de los materiales de fricción de cada uno para proceder a compararlos con los resultados obtenidos en el análisis de elementos finitos (F.E.A) empleando el software ANSYS.

Los resultados obtenidos determinarán como influyen las variables de entrada que se consideraron para esta investigación, de manera que permita determinar la temperatura final del disco, el tiempo y la distancia de frenado utilizando el software de análisis Minitab.

De esta manera se pretende ayudar a la sociedad a considerar cual es el repuesto más apropiado para la eficacia del frenado. También se brindará información acerca de las características y propiedades de cada uno de los elementos utilizados para este experimento.

**Palabras claves:** Variables de entrada, temperatura final, distancia y tiempo de frenado, eficacia de frenado, análisis de elementos finitos

## ABSTRACT

The braking system of an automobile is one of the active safety devices, which is why it must work safely and predictably under any circumstance. Brake discs are responsible for dissipating heat through the process of heat transfer by convection between masses at different temperatures. The necessary pressure to decelerate the vehicle is obtained by means of devices that increase the initial pressure exerted by the driver. Therefore, the objective of this project is to establish a comparison between an original brake disc and an alternative brake disc by means of tests and experimental route analysis.

For this purpose, a measurement and simulation tool will be used to visualize the temperature around the disc, the wind speed and the braking distance. It is also necessary to take into account the properties of the friction materials of each one in order to compare them with the results obtained in the finite element analysis (F.E.A) using ANSYS software.

The results obtained will determine the influence of the input variables that were considered for this research, in order to determine the final temperature of the disc, the time and the braking distance using the Minitab analysis software.

In this way, it is intended to help society to consider which is the most appropriate replacement for braking efficiency. It will also provide information about the characteristics and properties of each of the elements used for this experiment.

**Keywords:** Input variables, final temperature, braking distance and time, braking efficiency, finite element analysis

## Índice

1	INTRODUCCIÓN .....	1
	Objetivos .....	2
	Objetivo general.....	2
	Objetivo específico .....	2
2	MARCO TEÓRICO.....	3
2.1	Sistema de Frenos .....	3
2.1.1	Sistema de freno Hidráulico .....	3
2.2	Sistema de frenos del Chevrolet Aveo Emotion.....	5
2.3	Disco de freno.....	6
2.4	Tipos de disco de freno.....	7
2.4.1	Disco macizo .....	7
2.4.2	Disco ventilado.....	7
2.4.3	Disco perforado .....	7
2.5	Composición del disco de freno .....	7
2.6	Problemas principales causado por la temperatura en el disco de freno. ....	10
2.6.1	Fanding .....	10
2.6.2	Judder .....	10
2.7	Problemas principales del disco de freno. ....	11
2.7.1	Deformación.....	11
2.7.2	Agrietamiento.....	11
2.7.3	Fisuras .....	11
2.7.4	Sobrecalentamiento .....	11
2.8	Tipos de caliper o mordaza.....	11
2.8.1	Pinza fija.....	12
2.8.2	Pinza deslizante o flotante.....	12
2.8.3	Pinza oscilante.....	13

2.9	Pastillas de Freno .....	13
3	DISEÑO FACTORIAL PARA LAS PRUEBAS EXPERIMENTALES .....	15
3.1	Equipos e instrumentos utilizados en las pruebas de ruta.....	17
3.1.1	GRANTA EduPack. ....	17
3.1.2	Pirómetro .....	17
3.1.3	UAV Forecast.....	18
3.2	Selección del vehículo de prueba .....	19
3.3	Selección de Discos de Freno para pruebas experimentales .....	20
3.4	Selección de la pastilla de freno para las pruebas experimentales .....	21
3.5	Selección de superficies de terrenos para las pruebas de ruta .....	21
3.5.1	Vía con superficie de Hormigón .....	21
3.5.2	Vía con superficie de Grava .....	22
4	PROCEDIMIENTO PARA EL CÁLCULO DE CENTRO DE GRAVEDAD Y PRUEBAS DE CAMPO .....	24
4.1	Cálculo del centro de gravedad.....	24
4.2	Determinación de la velocidad del viento .....	32
4.3	Determinación de la Distancia de frenado.....	33
4.4	Procedimiento para la obtención de resultados de las pruebas adherencia en superficie de Hormigón y Grava.....	33
4.5	Coefficiente de fricción para las superficies de prueba .....	37
4.6	Determinación de la desaceleración del vehículo.....	38
4.7	Determinación de la eficacia del frenado .....	38
4.8	Diagrama de Flujo .....	40
4.9	Valores obtenidos en superficie de Hormigón y grava a 50 km/h y 70 km/h incluido el peso de dos ocupantes.....	41
4.9.1	Desaceleración en superficie de Hormigón a 50 km/h.....	44
4.9.2	Eficacia del sistema de frenado en hormigón a 50km/h.....	44

4.9.3	Desaceleración en superficie de Hormigón a 50 km/h con peso de dos ocupantes	45
4.9.4	Eficacia del sistema de frenado en hormigón a 50km/h con peso de dos ocupantes.....	45
4.9.5	Desaceleración en superficie de Hormigón a 70 km/h.....	48
4.9.6	Eficacia del sistema de frenado en superficie de Hormigón a 70 km/h .....	48
4.9.7	Desaceleración en superficie de Hormigón a 70 km/h con peso de dos ocupantes	49
4.9.8	Eficacia del sistema de frenado en superficie de Hormigón a 70 km/h con peso de dos ocupantes .....	49
4.9.9	Desaceleración en superficie de grava a 50 km/h .....	52
4.9.10	Eficacia del sistema de frenado en superficie de grava a 50 km/h.....	52
4.9.11	Desaceleración en superficie de grava a 50 km/h con peso de dos ocupantes...	53
4.9.12	Eficacia del sistema de frenado en superficie de grava a 50 km/h con peso de dos ocupantes .....	53
4.9.13	Desaceleración en superficie Grava a 70 km/h .....	56
4.9.14	Eficacia del sistema de frenado en superficie Grava a 70 km/h.....	56
4.9.15	Desaceleración en superficie Grava a 70 km/h con peso de dos ocupantes.....	57
4.9.16	Eficacia del sistema de frenado en superficie Grava a 70 km/h con peso de dos ocupantes.....	57
4.10	Calculo dinámico del sistema de frenado. ....	58
4.10.1	Energía disipada por el sistema de freno.....	58
4.11	Tipos de convecciones que afectan al disco de freno .....	62
4.11.1	Convección frontal .....	62
4.11.2	Convección periférica.....	62
4.11.3	Convección en la campana. ....	66
4.11.4	Convección lateral.....	69

4.12	Enfriamiento de newton.....	72
4.12.1	Área de superficie de contacto .....	72
4.13	Análisis de resultados en el programa Minitab 17.....	78
4.13.1	Temperatura del disco .....	78
4.13.2	Tiempo de frenado.....	87
4.13.3	Distancia de frenado.....	91
5	ANÁLISIS DE ELEMETOS FINITOS .....	99
5.1	Procesamiento.....	99
5.2	Mallado.....	99
5.3	Propiedades de los materiales del disco y pastilla de freno.....	101
5.4	Aplicaciones de carga y soporte. ....	102
	CONCLUSIONES.....	104
	RECOMENDACIONES .....	106
	REFERENCIA .....	108
	ANEXOS.....	111

## Índice de figuras

Figura 1. Esquema del Sistema Hidráulico .....	3
Figura 2. Fuerza aplicada al pedal del freno .....	4
Figura 3. Multiplicación de la fuerza hidráulica .....	5
Figura 4. conjunto del sistema de freno hidráulico .....	5
Figura 5 Partes que conforma el disco de freno .....	6
Figura 6 Porcentaje de composición básica de un disco de freno .....	8
Figura 7 Matriz de la microestructura de una disco Original .....	8
Figura 8 Composición química de un disco de freno original .....	9
Figura 9 Matriz de la microestructura de una disco Alterno .....	9
Figura 10 Composición química de un disco de freno alternativo .....	10
Figura 11 Funcionamiento del caliper tipo Fijo .....	12
Figura 12 Funcionamiento del caliper tipo Flotante .....	12
Figura 13 Funcionamiento del caliper tipo oscilante .....	13
Figura 14. Esquema del Diseño de Experimentos.....	15
Figura 15 Toma de temperatura con el pirómetro.....	18
Figura 16. Datos usados de aplicación UAV Forecast .....	18
Figura 17. Modelos vendidos en Guayaquil 2016-2017 .....	19
Figura 18. Ventas de vehículos en Guayaquil por segmentos.....	20
Figura 19. Discos Originales y Discos Alternos para Chevrolet Aveo Emotion .....	21
Figura 20. Ubicación de la vía de Hormigón y longitud de vía .....	21
Figura 21. Vía para la prueba de ruta con superficie de Hormigón .....	22
Figura 22. Ubicación de la vía empedrada y longitud de vía .....	23
Figura 23. Vía para la prueba de ruta con superficie empedrada .....	23
Figura 24. Toma de dos mediciones del peso total del vehículo.....	24
Figura 25. Toma de dos mediciones del peso del eje delantero del vehículo .....	24
Figura 26. Toma de dos mediciones del peso del eje posterior del vehículo.....	25
Figura 27. Diagrama de Fuerzas y distancias.....	26
Figura 28. Determinación de la distancia L1 del eje delantero al centro de gravedad.....	27
Figura 29. Determinación de FD y FP fuerzas teóricas en el vehículo de prueba .....	28
Figura 30. Ubicación de la distancia del centro del neumático delantero al centro de gravedad. .....	31
Figura 31. Determinación de la altura HT medida desde la base del carro.....	31

Figura 32. Ubicación del centro de gravedad en el vehículo .....	31
Figura 33. Determinación de la velocidad del viento en los 2 escenarios.....	32
Figura 34. Profundidad de labrado del neumático .....	34
Figura 35. Verificación y medición de la presión de los cuatro neumáticos.....	34
Figura 36. Limpieza de pistón de apriete e inspección de discos, cambio de discos y pastillas. .....	35
Figura 37. Cambio de cilindros de frenos posteriores.....	35
Figura 38. Verificación de la temperatura ambiente para las pruebas de ruta .....	36
Figura 39. Verificación de la temperatura inicial del disco. ....	36
Figura 40. Medición de la distancia de frenada en los 2 escenarios de pruebas. ....	37
Figura 41. Diagrama de flujo para realizar las pruebas de frenado.....	40
Figura 42 Convección frontal del disco de freno. ....	62
Figura 43. Dimensiones del disco de freno .....	73
Figura 44. Enfriamiento de Newton - Disco alterno a 50 km. ....	74
Figura 45. Enfriamiento de Newton - Disco alterno a 70 km. ....	75
Figura 46. Enfriamiento de Newton - Disco alterno a 50 km. . ....	76
Figura 47. Enfriamiento de Newton - Disco alterno a 70 km. . ....	77
Figura 48. Diagrama de Pareto de la temperatura final del disco. ....	78
Figura 49. Diagrama de interacción del tipo de disco x escenario.....	79
Figura 50. Grafica de cubos del tipo de disco x escenario de prueba. ....	79
Figura 51. Diagrama de interacción del tipo de disco x peso del vehículo.....	80
Figura 52. Grafica de cubos del tipo de disco x peso del vehículo.....	81
Figura 53. Diagrama de interacción del tipo de disco x velocidad del vehículo.....	82
Figura 54. Grafica de cubos del tipo de disco x velocidad del vehículo.....	82
Figura 55. Diagrama de interacción de la velocidad del vehículo x Peso del vehículo.....	83
Figura 56. Grafica de cubos de la velocidad del vehículo x Peso del vehículo.....	83
Figura 57. Grafica de contorno de la velocidad del vehículo x Peso del vehículo en función de la temperatura.....	84
Figura 58. Diagrama de interacción del factor ACD.....	85
Figura 59. Diagrama de Cubos del factor ACD.....	85
Figura 60. Temperaturas medias de los discos de freno.....	86
Figura 61. Diagrama de Pareto del tiempo de frenado.....	87



Figura 62. Diagrama de interacción del Peso del vehículo x Escenario de prueba.....	88
Figura 63. Diagrama de efectos principales del Peso del vehículo x Escenario de prueba.....	89
Figura 64. Diagrama de interacción del Tipo de disco x Peso del vehículo. ....	90
Figura 65. Diagrama de cubos del Tipo de disco x Peso del vehículo.....	90
Figura 66. Tiempo medio de frenado. ....	91
Figura 67. Diagrama de Pareto de la Distancia de frenado. ....	92
Figura 68. Diagrama de interacción de la velocidad del vehículo x Escenario de prueba.....	93
Figura 69. Diagrama de cubos de la velocidad del vehículo x Escenario de prueba .....	93
Figura 70. Diagrama de interacción del factor ABCD.....	94
Figura 71. Diagrama de cubos del factor ABCD. ....	95
Figura 72. Diagrama de interacción de la velocidad del vehículo x peso del vehículo. ....	96
Figura 73. Diagrama de cubos de la velocidad del vehículo x peso del vehículo.....	96
Figura 74. Grafica de contorno de la velocidad del vehículo x peso del vehículo.....	97
Figura 75. Distancia media de freno. ....	98
Figura 76 Análisis térmico y estructural mediante el uso software CAE.. ....	99
Figura 77 Diagrama de bloque de tipos de mallado .....	100
Figura 78 Mejoramiento local de malla. color rojo: malla mejorada, color celeste: malla no mejorada. ....	101
Figura 79 Mallado tetraédrico por defecto. ....	113
Figura 80: Mallado Cartesiano por defecto. ....	113
Figura 81 Mallado tetraédrico de 4mm. ....	113
Figura 82 Mallado tetraédrico mejorado de 4mm .....	114

## Índice de Tablas

Tabla 1 Composición química del disco de freno Original.....	8
Tabla 2 Composición química del disco de freno Alterno.....	9
Tabla 3 Muestra de las variables y sus niveles.....	16
Tabla 4 Creación del diseño de experimentos del tipo 2 <sup>4</sup> . .....	17
Tabla 5 Comparacion fisicos de los disco de freno.....	20
Tabla 6 Características de la vía de Hormigón.....	22
Tabla 7 Características de la vía empedrada .....	23
Tabla 8 Datos de pesos obtenidos de las diferentes posiciones. ....	25
Tabla 9.Especificaciones Técnicas de Aveo Emotion.....	26
Tabla 10 Valores de SSF para los 2 escenarios de pruebas.....	32
Tabla 11 Distancias máximas empleadas para las dos velocidades de prueba.....	33
Tabla 12 Valores promedio del coeficiente de fricción. ....	38
Tabla 13 Recolección de datos en superficie de Hormigón a 50 km/h con Discos Alternos ....	42
Tabla 14 Recolección de datos en superficie de Hormigón a 50 km/h con Discos Originales	42
Tabla 15 Recolección de datos en superficie de Hormigón a 50 km/h incluido el peso del copiloto con Discos Alternos .....	43
Tabla 16 Recolección de datos en superficie de Hormigón a 50 km/h incluido el peso del copiloto con Discos Originales.....	43
Tabla 17 Desaceleración a 50 km/h con diferentes tipos de discos de frenos.....	44
Tabla 18 Comparación de la eficacia a 50 km/h con diferentes tipos de discos de frenos .....	44
Tabla 19 Comparación de la desaceleración a 50 km/h incluido el peso del copiloto con diferentes tipos de discos de frenos.....	45
Tabla 20 Comparación de la eficacia a 50 km/h + 2 ocupantes, con diferentes tipos de discos de frenos.....	45
Tabla 21 Recolección de datos en superficie de Hormigón a 70 km/h con Discos Alternos...	46
Tabla 22 Recolección de datos en superficie de Hormigón a 70 km/h con Discos Originales	46
Tabla 23 Recolección de datos en superficie de Hormigón a 70 km/h incluido el peso del copiloto con Discos Alternos .....	47
Tabla 24 Recolección de datos en superficie de Hormigón a 70 km/h incluido el peso del copiloto con Discos Originales.....	47

Tabla 25 Comparación de la desaceleración a 70 km/h con diferentes tipos de discos de frenos .....	48
Tabla 26 Comparación de la eficacia a 70 km/h con diferentes tipos de discos de frenos .....	48
Tabla 27 Comparación de la desaceleración a 70 km/h incluido el peso del copiloto con diferentes tipos de discos de frenos .....	49
Tabla 28 Comparación de la eficacia a 70 km/h + peso de 2 ocupantes, con diferentes tipos de discos de frenos .....	49
Tabla 29 Recolección de datos en superficie Grava a 50 km/h con Discos Alternos .....	50
Tabla 30 Recolección de datos en superficie Grava a 50 km/h con Discos Originales .....	50
Tabla 31 Recolección de datos en superficie Grava a 50 km/h incluido el peso del copiloto con Discos Alternos .....	51
Tabla 32 Recolección de datos en superficie Grava a 50 km/h incluido el peso del copiloto con Discos Alternos .....	51
Tabla 33 Comparación de la desaceleración a 50 km/h con diferentes tipos de discos de frenos .....	52
Tabla 34 Comparación de la eficacia a 50 km/h con diferentes tipos de discos de frenos .....	52
Tabla 35 Comparación de la desaceleración a 50 km/h incluido el peso del copiloto con diferentes tipos de discos de frenos .....	53
Tabla 36 Comparación de la eficacia a 50 km/h + peso de 2 ocupantes, con diferentes tipos de discos de frenos .....	53
Tabla 37 Recolección de datos en superficie Grava a 70 km/h con Discos Alternos .....	54
Tabla 38 Recolección de datos en superficie Grava a 70 km/h con Discos Originales. ....	54
Tabla 39 Recolección de datos en superficie Grava a 70 km/h incluido el peso del copiloto con Discos Alternos .....	55
Tabla 40 Recolección de datos en superficie Grava a 70 km/h incluido el peso del copiloto con Discos Originales. ....	55
Tabla 41 Comparación de la desaceleración a 70 km/h con diferentes tipos de discos de frenos .....	56
Tabla 42 Comparación de la eficacia a 70 km/h con diferentes tipos de discos de frenos .....	56
Tabla 43 Comparación de la desaceleración a 70 km/h incluido el peso del copiloto con diferentes tipos de discos de frenos .....	57
Tabla 44 Comparación de la eficacia a 70 km/h con diferentes tipos de discos de frenos .....	57

Tabla 45 Energía Disipada por el sistema de freno.....	58
Tabla 46 Energía cinética del disco de freno .....	59
Tabla 47 Energía Absorbida en los ejes delanteros.....	59
Tabla 48 Energía absorbida por cada disco de freno.....	59
Tabla 49 Propiedades de componentes de freno .....	60
Tabla 50 Cálculo de elevación de temperatura del disco alterno .....	61
Tabla 51 Cálculo de elevación de temperatura del disco original.....	61
Tabla 52 Propiedad del aire.....	63
Tabla 53 Cálculo de numero de Reynolds para disco Original y alterno y de diferentes pesos .....	64
Tabla 54 Cálculo de numero de Reynolds para disco Original y alterno y de diferentes pesos .....	64
Tabla 55 Cálculo de coeficiente de convección .....	65
Tabla 56 Cálculo de coeficiente de convección periférica.....	66
Tabla 57 Cálculo de numero de Reynolds para disco Original y alterno y de diferentes pesos. ....	66
Tabla 58 Cálculo de numero de Nusselt para disco Original y alterno y de diferentes pesos..	67
Tabla 59 Cálculo de coeficiente de convección .....	68
Tabla 60 Cálculo de coeficiente de convección campana .....	68
Tabla 61 Calculo total de calor periférico y de campana .....	69
Tabla 62 Cálculo de la viscosidad de Denver .....	70
Tabla 63 Cálculo de numero de Reynolds de la convección lateral del disco .....	70
Tabla 64 Cálculo de numero de Nusselt de la convección lateral del disco .....	71
Tabla 65 Cálculo de convección de placas planas. ....	71
Tabla 66 Transferencia de calor del disco parte lateral.....	72
Tabla 67 Enfriamiento de newton a 50 km -Variación de newton en función del tiempo.....	74
Tabla 68 Enfriamiento de newton a 70 km -Variación de newton en función del tiempo.....	75
Tabla 69 Enfriamiento de newton a 50 km -Variación de newton en función del tiempo.....	76
Tabla 70 Enfriamiento de newton a 70 km -Variación de newton en función del tiempo.....	77
Tabla 71 Cuadro de comparación de malla .....	99
Tabla 72 Propiedades del disco de freno "Gray Cast Iron" .....	101
Tabla 73 Propiedades de la pastilla de freno "TRIMAT GZC" .....	102

Tabla 74 Valores establecidos para pruebas..... 102

## 1 Introducción

En el desarrollo de la industria automotriz, el sistema de freno es uno de los componentes importantes en el automóvil (Mario Chérrez-Troya, 2018), uno de los principales dispositivos de seguridad activa y por ello es indispensable el buen funcionamiento, dado que si no se asegura un grado de fiabilidad muy alto puede ocasionar accidentes graves. Los discos de freno absorben el 70% de la energía cinética producida por el movimiento y el porcentaje restante en los frenos traseros. Cuando se producen frenadas recurrentes aumenta la temperatura de los frenos y a su vez la cantidad de fricción disipando el calor rápidamente al aire circundante por convección (transferencia de calor entre masas a diferentes temperaturas). (Ricardo Andrés García León, 2016)

La disipación de calor depende de la geometría, material y en gran medida de las características de flujo de aire a través de los canales de ventilación (Ricardo Andrés García-León, 2018). Las altas temperaturas pueden causar la vaporización del líquido de freno, desgaste, grietas térmicas (Fading) y vibraciones. Los factores ambientales también son determinantes para que la etapa de transferencia de calor se produzca, además, cuando la temperatura alcanza valores elevados aparece el fenómeno de radiación, lo cual también ayuda a disipar la energía en forma de calor almacenada en el disco. Es importante la geometría de los discos en función de la capacidad de carga y el funcionamiento del vehículo. (Ricardo Andrés García León, 2016).

Se realizarán pruebas de campo empleando repuestos originales como alternos de discos de freno, además se realizará simulaciones para analizar el comportamiento térmico y estructural de un disco de freno para un vehículo Chevrolet Aveo Emotion.

Para las pruebas de ruta se realizaran dentro de la ciudad de Guayaquil, se tendrán en cuenta diferentes escenarios, velocidades y peso del automotor durante las pruebas de adherencia, ya que esto permitirá corroborar el desgaste por el uso continuo del pedal, y una vez realizada la prueba de ruta, se procederá a visualizar como influyen las variables de salida tanto en un disco original como de un disco alternativo, dado que en un disco original se tienen mejores propiedades de resistencia al desgaste en comparación de un disco de freno alternativo. (Piedra, 2016).

## **Objetivos**

### **Objetivo general**

- Analizar el sistema de frenado mediante el análisis dinámico de un disco de freno original y un disco de freno alterno para un vehículo Chevrolet Aveo Emotion 1.6 año 2012.

### **Objetivo específico**

- Plantear un diseño multifactorial para definir los tratamientos que se van a aplicar en los discos de freno y las variables de entrada y salida.
- Realizar un análisis estadístico de datos y configurar la dependencia de las variables.
- Determinar mediante pruebas de ruta la eficacia del frenado de un disco original y alterno procurando la mejor condición en el sistema de freno.
- Completar el análisis del disco de freno con simulación de elemento finito mediante análisis térmico y su disipación de calor.

## 2 Marco Teórico

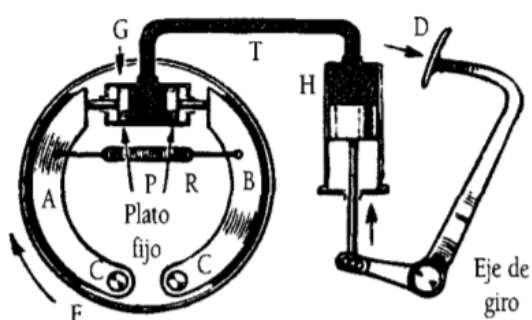
### 2.1 Sistema de Frenos

El sistema de frenos constituye uno de los componentes principales de la seguridad activa, debido a que tiene como finalidad disminuir progresivamente la velocidad del vehículo en las condiciones que determine el conductor, la energía cinética que posee todo vehículo en movimiento se transforma en energía calorífica que se irradia a la atmosfera. Los sistemas de frenado sirven para aumentar la fuerza que suministra el conductor sobre el pedal. Existen distintos tipos de sistemas para transmitir la fuerza aplicada al pedal hasta los frenos. (Carlos Francisco Cevallos Arboleda, Agosto 2016)

#### 2.1.1 Sistema de freno Hidráulico

Este sistema de frenado funciona mediante el principio de pascal que permite la distribución de la presión del líquido del sistema en todos los puntos cumpliendo así la acción de frenado. (Fernández, 2018). El sistema consta de una bomba hidráulica, la cual, al ser accionada por el pedal de freno, esta reparte de igual manera la presión generada hacia todas las ruedas según su distribución. (Carrillo, 2015)

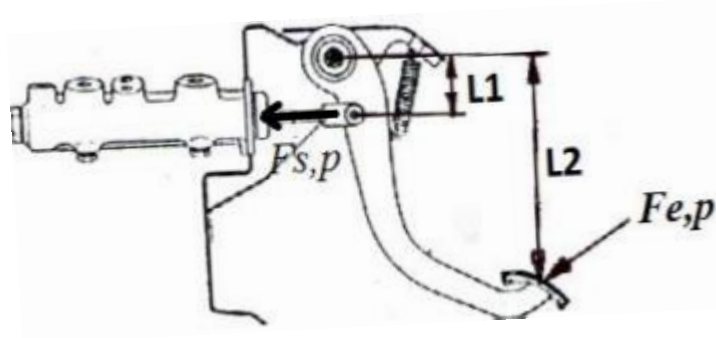
El sistema de frenos hidráulicos tiene la facilidad de organizar de mejor manera las tuberías (T) ya que estas pueden tener curvas y codos de ser necesarios, además de ser flexibles por lo tanto no interfieren con los giros de las ruedas y la variación de la suspensión. (Fernández, 2018)



**Figura 1.** Esquema del Sistema Hidráulico. **Fuente:** (Arias-Paz, 2004)

El pedal de freno sirve para multiplicar la fuerza ejercida por el pie del conductor, solo se realiza un procedimiento mecánico para el movimiento de la palanca.





**Figura 2.** Fuerza aplicada al pedal del freno. **Fuente:** (SOLÍS, 2014)

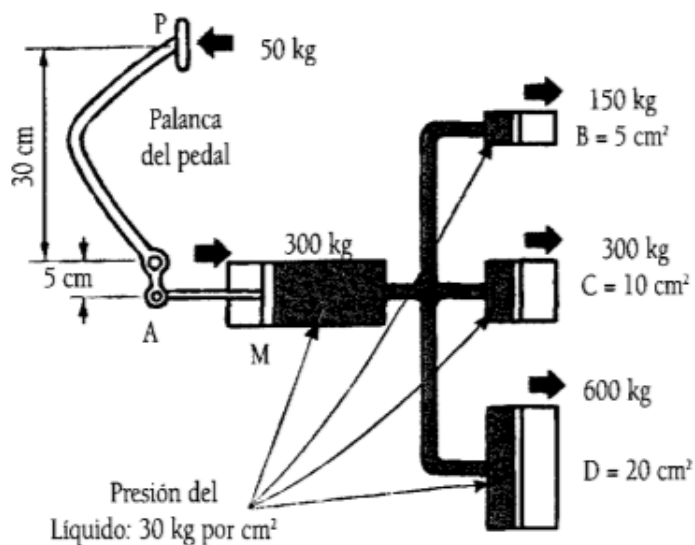
Para determinar la fuerza aplicada será determinada por la siguiente formula:

$$F_{s,p} = F_{e,p} \times \frac{L_2}{L_1}$$

Donde:

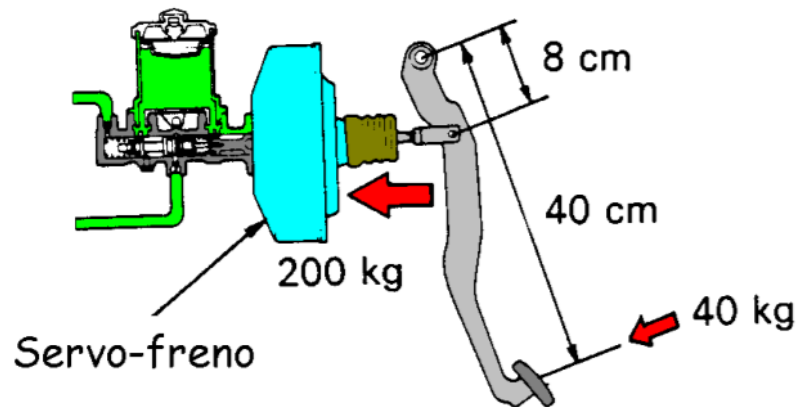
- **Fs, p** = Fuerza a la salida del conjunto del pedal de freno.
- **Fe, p** = Fuerza a la entrada aplicada por el conductor en la plataforma del pedal.
- **L1** = Distancia comprendida entre la articulación del pedal de freno hasta la articulación del vástago de salida de accionamiento de la bomba.
- **L2** = Distancia comprendida entre la articulación del pedal de freno hasta la plataforma de accionamiento. (SOLÍS, 2014)

Para el movimiento de la palanca visto en la figura 3. si el brazo de fuerza P es, seis veces mayor que el punto aplicación (A), la fuerza se multiplica por seis, debido a que el recorrido de (A) es seis veces menor que (P). se puede observar el efecto multiplicador provocado por la diferencia de superficie de los émbolos, dado que la superficie (D) es más grande se consigue el doble de fuerza aplicada en el embolo. (Esteban José Domínguez Soriano, 2018)



**Figura 3.** Multiplicación de la fuerza hidráulica. **Fuente:** (Arias-Paz, 2004)

El rendimiento del servofreno varía dependiendo del tamaño del área en donde la presión atmosférica y el vacío actúan. Mientras más grande sea el área, más grande la potencia de refuerzo. Normalmente, el servo freno incrementa la fuerza de frenado de 2 a 4 veces. (Diana Perugachi, 2010)



**Figura 4.** conjunto del sistema de freno hidráulico. **Fuente:** (Diana Perugachi, 2010)

## 2.2 Sistema de frenos del Chevrolet Aveo Emotion

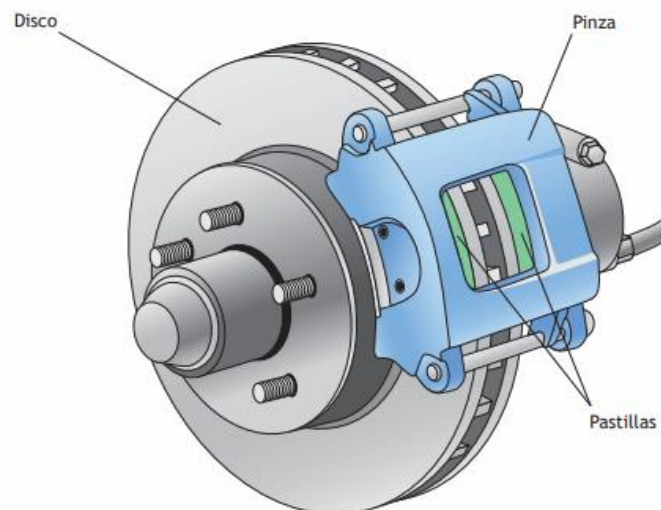
Este vehículo Chevrolet Aveo Emotion viene equipado con el sistema de frenos hidráulico de doble circuito en diagonal, del cilindro maestro se derivan cuatro cañerías que van para cada neumático del vehículo. Las ruedas delanteras vienen equipadas con frenos de discos ventilados y las ruedas posteriores con frenos de tambor.

1. Servo freno
2. Cilindro maestro
3. Tuberías hidráulicas
4. Palanca de freno de mano

### 2.3 Disco de freno

Los discos de freno son empleados en los vehículos actuales comúnmente en la parte delantera de los vehículos y algunos casos en la parte posterior, los discos de freno son la superficie contra la cual interactúan las pastillas para detener el vehículo, el rozamiento entre discos y pastillas de freno produce energía cinética en la cual es transformada en energía calorífica, provocando una reducción de la velocidad. Con frenadas extremas los discos de frenos pueden alcanzar una temperatura hasta 700°C lo suficiente para encender un foco durante un año (Triay, 2018). Los discos de freno tienen ciertas ventajas en comparación al tipo de freno de tambor como: (Sistemas de Transmisión y Frenado, 2009)

- Tiene mayor poder de frenado.
- Estabilidad en el frenado.
- Dado por el aumento de temperatura de sus componentes tiene una menor pérdida de rendimiento de frenado.
- Reducción de costo.



**Figura 5** Partes que conforma el disco de freno. **Fuente:** (Sistemas de Transmisión y Frenado, 2009)

## 2.4 Tipos de disco de freno

En la actualidad existen varios tipos y geometría de disco de freno por lo cual cada fabricante elige el tipo según las prestaciones que estos brindan, ya que esto forma parte fundamental de la seguridad activa del automóvil.

Existen diferentes tipos de disco de freno según (Esteban José Domínguez Soriano, 2018)

### 2.4.1 Disco macizo

Este tipo de discos se componen de una sola pieza de ello proviene su nombre, suelen colocarse en las ruedas posteriores, su desventaja es que son propensos a acumular calor, suciedad y cristalización de las pastillas. Este tipo de disco disipa el calor generado por la fricción de manera más lenta.

### 2.4.2 Disco ventilado

Compuesto por dos pistas separados por aletas en su interior ya que nos permite un enfriamiento tanto interior como exterior del disco con mayor rapidez comúnmente son utilizados en los ejes delanteros del vehículo.

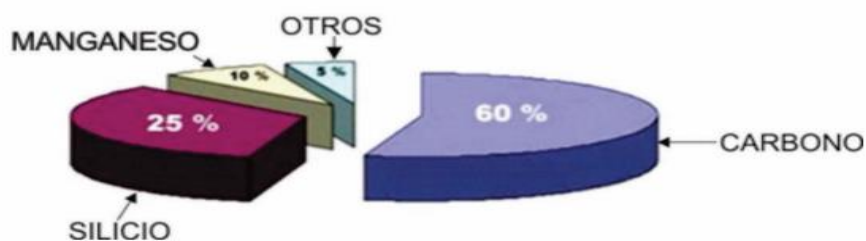
### 2.4.3 Disco perforado

La ventaja del disco perforado es la mejor ventilación y refrigeración del material durante y después del proceso de frenado. El calor y los gases generados durante el proceso de frenado se disipan rápidamente de manera que se disminuya el sobrecalentamiento y responda de manera uniforme.

## 2.5 Composición del disco de freno

Para esta investigación se dará a conocer la composición de un disco de freno original como alterno.

La composición básica del material del disco de freno es de una fundición gris nodular de grafito laminar, esta contiene entre un 92 a 93 % de hierro. Además del hierro contiene otros elementos como son el carbono (C), silicio (Si), Manganeseo (Mn), Fosforo (P) y Azufre (S).



**Figura 6** Porcentaje de composición básica de un disco de freno. **Fuente:** (Paúl Wilfrido Méndez Torres, 2017)

- **Disco original:** Compuesta con una fundición gris hipoeutectica de una matriz completamente perlítica, dado de la ausencia de una matriz ferrítica tiene mejores propiedades mecánicas.



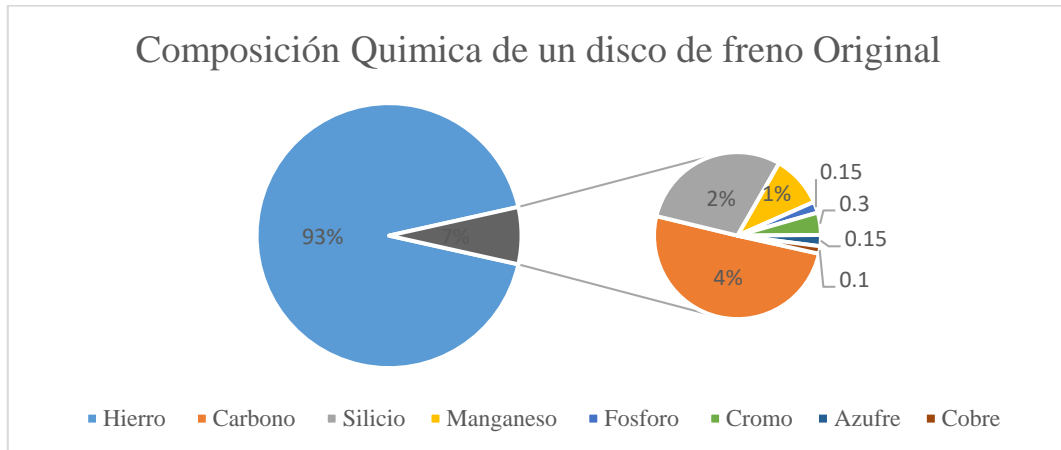
**Figura 7** Matriz de la microestructura de una disco Original. **Fuente.** (Andrés, 2017)

**Tabla 1**

*Composición química del disco de freno Original.*

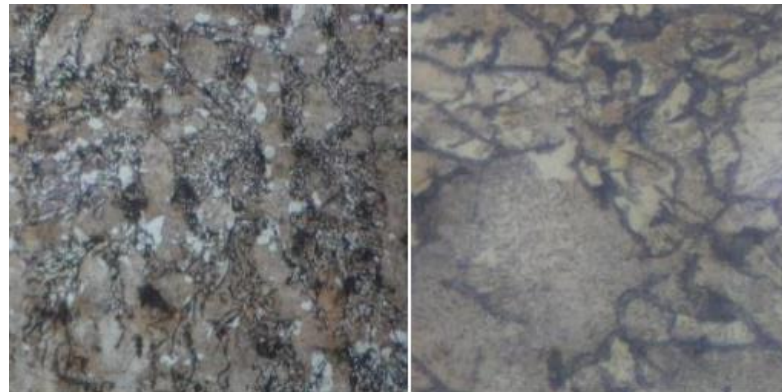
Composición Química de un disco de freno Original	
Materia	Porcentaje
<b>Hierro</b>	92.87
<b>Carbono</b>	3.49
<b>Silicio</b>	2.05
<b>Manganeso</b>	0.7
<b>Fosforo</b>	0.15
<b>Cromo</b>	0.3
<b>Azufre</b>	0.15
<b>Cobre</b>	0.1

**Fuente:** (Piedra, 2016)



**Figura 8** Composición química de un disco de freno original. **Fuente:** Autores

- **Disco alterno:** Compuesta con una fundición gris hipoeutectica constituido de una matriz ferrítica/ perlítica.



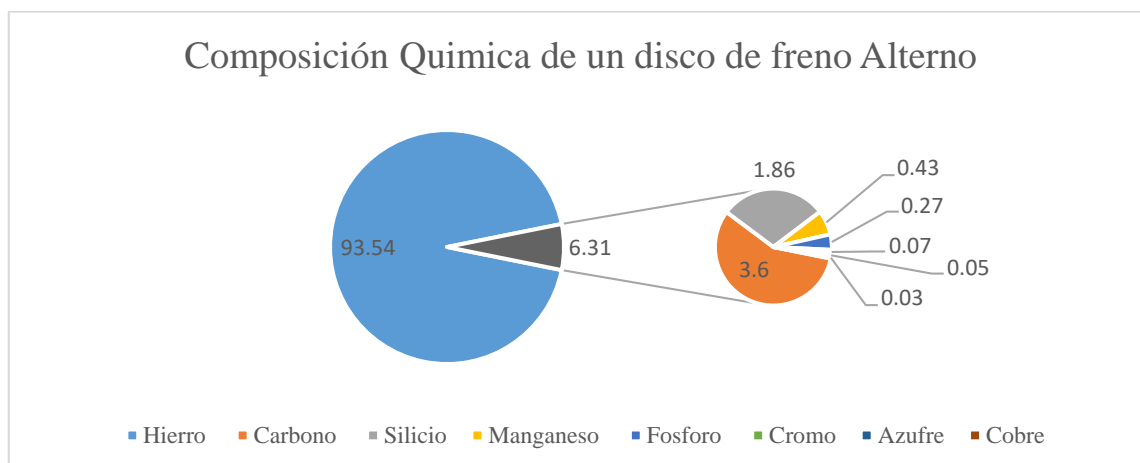
**Figura 9** Matriz de la microestructura de una disco Alterno. **Fuente.** (Andrés, 2017)

**Tabla 2**

*Composición química del disco de freno Alterno.*

Composición Química de un disco de freno alterno	
Materia	Porcentaje
Hierro	93.54
Carbono	3.6
Silicio	1.86
Manganeso	0.43
Fosforo	0.27
Cromo	0.07
Azufre	0.05
Cobre	0.03

**Fuente:** (Piedra, 2016)



**Figura 10** Composición química de un disco de freno alternativo. *Fuente: Autores*

## 2.6 Problemas principales causado por la temperatura en el disco de freno.

### 2.6.1 Fading

Es la pérdida de la eficacia del frenado antes un excesivo abuso del freno debido a que los elementos de fricción como el disco y la pastilla de freno son elevados por lo que no es capaz de evacuar el calor provocado. (Paúl Wilfrido Méndez Torres, 2017).

### 2.6.2 Judder

Este fenómeno puede ser detectable por el conductor debido que este fenómeno provoca vibraciones en el sistema de freno. El fenómeno Judder se clasifica en dos:

#### 2.6.2.1 Judder Frio (Cold Judder):

Son fallas de mecanizados, problema de ensamble o holguras excesivas esto debido que estas producen vibraciones provocando una deformación del disco. (Gaibor Garcia Roque Fernando, 2014). Las pastillas de freno suelen provocar o disminuir el problema debido a la calidad dado que esta se puede percibir a baja presión y baja desaceleración. (Paúl Wilfrido Méndez Torres, 2017)

#### 2.6.2.2 Judder Caliente (Hot Judder):

Son vibraciones a temperaturas altas, este fenómeno sucede en velocidades medias y altas, ya que las condiciones de frenado se alargan y la temperatura aumenta entre 300 a 500° C. El fenómeno de Judder caliente se da cuando los materiales de fricción son elevados las temperaturas en algunas zonas del disco y cuando estas zonas se enfrían se crean manchas siendo estas visibles. El resultado de esta mancha se da por que la

estructura grafito laminar pasa a ser estructura de cementita. (Paúl Wilfrido Méndez Torres, 2017)

## **2.7 Problemas principales del disco de freno.**

### **2.7.1 Deformación**

Provocado principalmente por un sobrecalentamiento producido por la fricción entre los discos y las pastillas ocurre principalmente al conducir por carreteras en mal estado o bajadas, también por cambios bruscos de temperatura y defectos en la fabricación de los discos, todo esto conlleva a graves consecuencias como: ondulación en el disco, planicidad en la superficie, o defectos en el paralelismo en las caras. (Andrés, 2017)

### **2.7.2 Agrietamiento**

Un disco agrietado puede resultar por varios factores como vibraciones en el sistema, desbalanceo o deformación en el disco, frenado irregular, fallo en el material, al igual que el sobrecalentamiento a altas temperaturas favorecen la aparición de grietas que son formadas por pequeños poros en el material. (Andrés, 2017)

### **2.7.3 Fisuras**

Se producen por dilatación y contracción térmica. Se conoce como dilatación térmica cuando un elemento se somete a altas temperaturas sus partículas empiezan a moverse y separarse entre sí lo que provoca un aumento de su volumen, en cambio a bajas temperaturas las dimensiones de un cuerpo disminuyen lo que se conoce como contracción térmica. (Andrés, 2017)

### **2.7.4 Sobrecalentamiento**

Causado por las altas temperaturas previo del contacto entre disco y pastillas. Las causas del sobrecalentamiento son por las altas temperaturas por un frenado brusco y deformaciones debido por mala calidad del material de fricción tanto de las pastillas como de los discos que afectan por igual. (Andrés, 2017)

## **2.8 Tipos de caliper o mordaza**

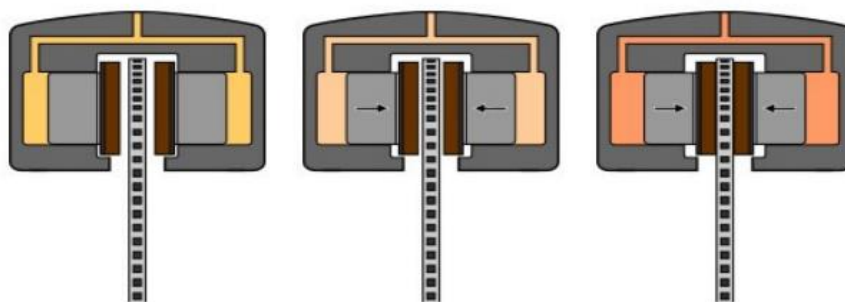
El caliper o las pinzas de freno son elementos acoplados a las pastillas y el actuador hidráulico (los pistones), donde el actuador hidráulico empuja las pastillas de freno haciendo contacto con el disco. (Sistemas de Transmisión y Frenado, 2009)

Existe tres tipos de pinzas:



### 2.8.1 Pinza fija

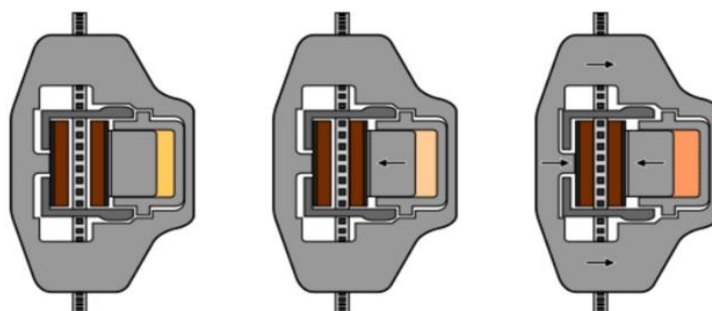
Este tipo de pinza de sujeta de forma rígida, lo que provocaría un rozamiento inestable de las pastillas de freno dado que el disco gira sin que se produzca un alabeo. En cada lado de la pinza posee uno o varios pistones dependiendo de las exigencias del freno. Este tipo de caliper comúnmente suele instalarse en vehículo de alta potencia y vehículos pesados.



**Figura 11** Funcionamiento del caliper tipo Fijo. *Fuente:* (Triay, 2018)

### 2.8.2 Pinza deslizante o flotante

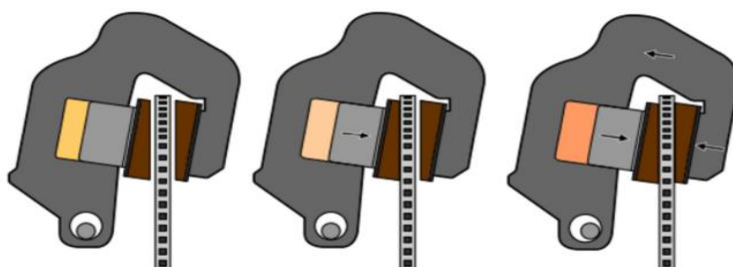
Este tipo de pinza están sujeta de pasadores que permiten un movimiento axial, dispone de un solo pistón de accionamiento, cuando se presiona el freno, el pistón presiona la pastilla de freno contra el disco y esa fuerza de reacción arrastra el conjunto de la pinza desplazándose hacia el sentido contrario haciendo que la otra pastilla accione el disco. Este tipo de pinza suele montarse en vehículos livianos o de turismo.



**Figura 12** Funcionamiento del caliper tipo Flotante. *Fuente:* (Triay, 2018)

### 2.8.3 Pinza oscilante

Este tipo de pinza posee un solo pistón o cilindro, está montada sobre un perno que funciona como eje de giro. Al presionar el freno, la presión hidráulica desplaza el pistón haciendo fricción con el disco, a partir de esa presión generada, se ejerce una presión sobre el extremo cerrado del cilindro obligando a la pinza a oscilar alrededor del perno hasta presionar el disco.



**Figura 13** Funcionamiento del caliper tipo oscilante. **Fuente:** (Triay, 2018)

### 2.9 Pastillas de Freno

Son elementos que friccionan con el disco para realizar la acción de frenado, cuenta con una parte metálica en el cual se apoya el material de fricción y es la base que se acopla a la mordaza de freno. Poseen unas virutas de un componente metálico que tiene como finalidad proporcionar a la pastilla una mayor rigidez mecánica. Antiguamente para la fabricación de las pastillas de freno se utilizaba el amianto en el cual otorgaba mayor rigidez y mejor disipación de la temperatura, sin embargo, este tipo de material resulto ser altamente cancerígeno y por ende se ha dejado de utilizarlo. (Sistemas de Transmisión y Frenado, 2009)

**Las pastillas de freno deben reunir algunas características para su funcionamiento según** (EDUARDO ÁGUEDA CASADO, 2012)

- Deben ser resistentes a la abrasión y al desgaste además deben tener una buena estabilidad térmica.
- Deben ser capaces de brindar una resistencia al cizallamiento considerable para evitar posibles problemas como deformaciones cuando se frena.

- Deben permitir buena compresibilidad para que el forro absorba las vibraciones e irregularidades de la superficie del disco de freno.

**Los materiales sustitutos del amianto que se emplean en la actualidad son los siguientes según (Pablo Luque, 2008)**

- Fibras metálicas
- Fibras de vidrio
- Fibras sintéticas (aramida)
- Fibras minerales
- Fibra de carbono
- Materiales sinterizados (metálicos y cerámicos)

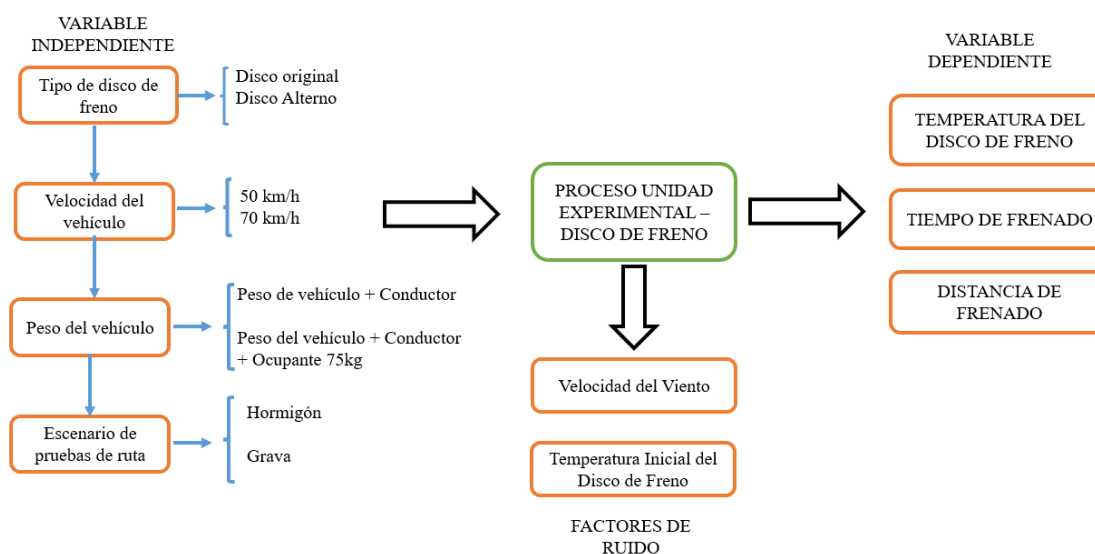
## CAPÍTULO II

### 3 DISEÑO FACTORIAL PARA LAS PRUEBAS EXPERIMENTALES

En este capítulo se presenta el tipo de metodología experimental que será implementada durante el proceso de investigación y desarrollo para las pruebas de adherencia en el vehículo de prueba “Aveo Emotion”.

Según el libro (Carlos Fernández Collado) Los autores Creswell (2013<sup>a</sup>) y Reichardt (2004) “llaman a los experimentos estudios de intervención, porque un investigador genera una situación para tratar de explicar cómo afecta a quienes participan en ella en comparación con quienes no lo hacen.”

De manera que para el diseño de experimentos con sus siglas en inglés (DOE) se acude a la creación de un diseño factorial haciendo uso del software Minitab 17, cabe destacar que esta metodología permite estudiar cualquier respuesta que varía en función de una o más variables independientes que se consideraron para este proyecto.



**Figura 14.** Esquema del Diseño de Experimentos. **Fuente:** Autores

Como se muestra en la figura 14. Las variables independientes para este estudio se consideraron de dos grados por cada variable visto de esta forma se tiene cuatro factores de dos niveles  $2^4$ . De manera que para esta investigación se consideraron tres variables dependientes puesto que se busca ver y analizar el resultado que tiene las variables de entrada al ser modificadas y como estas influyen a las salidas.

Y en los factores de ruido se consideraron dos variables: la velocidad del viento y la temperatura inicial del disco.

Definiendo de la siguiente manera las variables en estudio como se observa en la tabla 3, próximo a ser empleadas en el software donde se mostrará de forma aleatoria como se deben realizar los experimentos.

**Tabla 3**

*Muestra de las variables y sus niveles.*

N° de Niveles	Variables	Nivel		Unidad
		Mínimo	Máximo	
2	Tipo de disco de freno	Disco Alterno	Disco Original	----
2	Velocidad del vehículo	50	70	Km/h
2	Peso del vehículo	1230	1305	Kg
2	Escenarios de pruebas	Grava	Hormigón	----

**Fuente:** Autores

Se procede a desarrollar el diseño de experimentos con la ayuda del software Minitab 17 definiendo las variables de entrada. Dentro del software se crea un diseño factorial el cual permite declarar los factores que se han elegido para esta investigación en donde es necesario especificar el tipo, sea este: textual o numérico, también donde se determina la calificación de los niveles de cada uno de los factores siendo estos: bajo o alto. Cabe mencionar que para este diseño de experimentos se eligió tres replicas con las que se van a desarrollar las pruebas.

**Tabla 4**

*Creación del diseño de experimentos del tipo 2<sup>4</sup>.*

FACTOR	NOMBRE	TIPO	BAJO	ALTO
A	TIPO DE DISCO	TEXTO	DISCO ALTERNO	DISCO ORIGINAL
B	VELOCIDAD DEL VEHICULO	NUMÉRICO	50	70
C	PESO DEL VEHICULO	NUMÉRICO	1230	1305
D	ESCENARIO DE PRUEBA	TEXTO	GRAVA	HORMIGON

**Fuente:** Autores

De esa forma el software Minitab realiza diferentes corridas lo que permite conocer el orden en que se deben realizar dichas pruebas. Designando los niveles bajo y alto de manera aleatoria, para esta investigación se realizaron 48 pruebas de ruta para poder determinar las variables de salida designadas anteriormente. Teniendo en cuenta que el número de pruebas aumenta en relación a las repeticiones que uno considere realizar.

### 3.1 Equipos e instrumentos utilizados en las pruebas de ruta

Durante las pruebas experimentales se utilizaron equipos y herramientas de medición y simulación tales como: software ANSYS, aplicaciones móviles: UAV Forecast y equipo de medición como el pirómetro, lo cuales permitirán obtener datos necesarios para medir las variables dependientes. De manera que se procede a analizar la información que se recoge de los instrumentos utilizados en estas pruebas.

#### 3.1.1 GRANTA EduPack.

CES EduPack es un software interactivo y visual que muestra la importancia de los materiales y sus procesos de fabricación. También incorpora una metodología estructurada que permite la comparación de materiales y procesos (CES EduPack, 2018).

Existen dos factores importantes en lo que conciernen en la estructura interna de la fundición gris tanto perlítica, ferrítica o perlítica-ferrítica y es la velocidad de enfriamiento y el tratamiento térmico. (Andrés, 2017)

#### 3.1.2 Pirómetro

Un pirómetro es un dispositivo que tiene propiedades ópticas que sin estar en contacto con el material puede determinar la medida de radiación térmica. Determinar la temperatura crítica del

disco de freno de un vehículo resulta complejo debido que la temperatura no es estable en todas las condiciones de prueba (Gaibor Garcia Roque Fernando, 2014)

Para el proceso de medición se debe apuntar el láser del pirómetro en una de las partes visible del disco de freno con el fin de determinar a qué temperatura trabaja, para las pruebas de ruta se tomarán varios valores de temperatura para poder calcular una temperatura media en su funcionamiento.



**Figura 15** Toma de temperatura con el pirómetro. **Fuente:** Autores

### 3.1.3 UAV Forecast

Es una aplicación móvil que permite tomar el valor de la velocidad del viento en función de la ubicación donde se encuentre, además esta herramienta no solo ayudará para dicha función, si no que permitirá conocer algunos datos sobre las condiciones del clima útiles para el desarrollo de las pruebas, a continuación, se mencionan algunas características de la aplicación.

1. El tipo clima
2. La temperatura
3. Visibilidad
4. Velocidad del viento
5. La dirección del viento
6. Altitud



**Figura 16.** Datos usados de aplicación UAV Forecast. **Fuente:** (Lloyd, 2015-2021)

### 3.2 Selección del vehículo de prueba

Para la selección y realización de prueba de frenado se tomó en consideración dos factores, en primera seleccionar uno de los vehículos livianos más vendidos en la ciudad de Guayaquil con la ayuda del anuario de la AEDA (Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador) y segunda enfocarnos en la disponibilidad de los repuestos que existen aún en el mercador ecuatoriano.

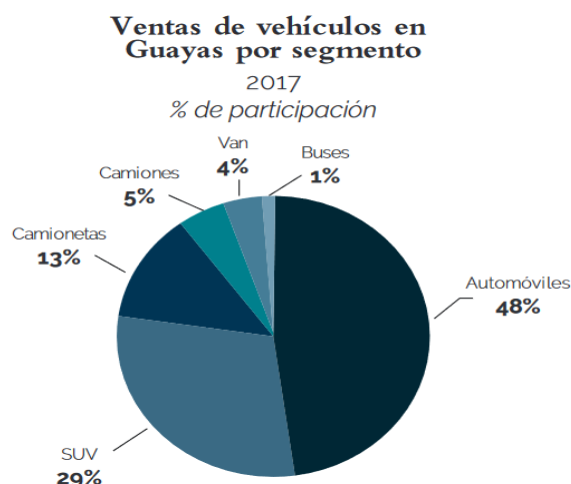
Según con la AEDA los principales modelos vendidos en Guayaquil son los siguientes:

Principales modelos vendidos en Guayas En unidades, 2016-2017			
Modelo	Marca	2016	2017
AVEO FAMILY 1.5L STD	CHEVROLET	1600	2.444
NUEVO SAIL	CHEVROLET	-	2.127
AVEO EMO- TION 1.6L 4P GLS	CHEVROLET	1635	1030
D-MAX CRDI STD 3.0 CD 4X2 TM DIESEL	CHEVROLET	681	926
SAIL 4P 1.4L 4X2 TM A/C	CHEVROLET	1799	909

**Figura 17.** Modelos vendidos en Guayaquil 2016-2017 **Fuente:** (AEADE, 2016-2017)

Se tomó en consideración el Aveo Emotion 1.6L GLS dado que ocupa el puesto número 3 de los vehículos más vendido en la ciudad de Guayaquil y hasta la fecha aún se comercializa sus repuestos.





**Figura 18.** Ventas de vehículos en Guayaquil por segmentos *Fuente:* (AEADE, 2016-2017)

### 3.3 Selección de Discos de Freno para pruebas experimentales

Se consideró dos tipos de discos de frenos que actualmente se comercializan en el territorio ecuatoriano siendo estos fáciles a la hora de adquirirlos para su reposición, de manera que para las pruebas de adherencia se usó Discos Alternos de la marca “Strong auto parts” y los Discos Originales de GM.

**Tabla 5**

*Comparaciones físicas de los discos de freno.*

Disco Original		Disco Alterno	
Peso	4 kg	Peso	5 kg
Numero de orificio de ventilacion	40	Numero de orificio de ventilacion	34
Espesor	2.4 mm	Espesor	2.4 mm

*Fuente:* Autores

En la tabla 5, se muestra la diferencia de las características físicas los discos de freno que se usaron para las pruebas de adherencia.



**Figura 19.** Discos Originales y Discos Alternos para Chevrolet Aveo Emotion. **Fuente:** Autores

### 3.4 Selección de la pastilla de freno para las pruebas experimentales

Para esta investigación se consideró utilizar pastillas alternas AAA, que son consideradas de mejor calidad para desarrollar las pruebas experimentales. cabe resaltar que se trabajó con este modelo de pastilla durante todas las pruebas realizadas, perteneciente a la marca Okami.

### 3.5 Selección de superficies de terrenos para las pruebas de ruta

Para las pruebas de ruta se seleccionaron dos escenarios con diferentes tipos de terreno dentro de la ciudad de Guayaquil con el fin de analizar las superficies donde se llevarán a cabo, a continuación, se detallan especificaciones de los terrenos.

#### 3.5.1 Vía con superficie de Hormigón

Ubicada en el parque samanes Av. Paseo del parque al norte de la ciudad de Guayaquil



**Figura 20.** Ubicación de la vía de Hormigón y longitud de vía. **Fuente:** (Google., 2021)

La Av. Paseo del parque en samanes se la utilizó para las pruebas de ruta debido a la disponibilidad de la calle ya que es bastante extensa y además no tiene ninguna intersección dentro de la distancia utilizada para las pruebas como se observa en la figura 21.



**Figura 21.** Vía para la prueba de ruta con superficie de Hormigón. **Fuente:** Autores

A continuación, se muestra las características de la superficie de vía escogida para realizar las pruebas de adherencia, se encuentran detallados en la tabla 6.

**Tabla 6**

*Características de la vía de Hormigón.*

Longitud de la vía para las pruebas	Aproximadamente 440 m
Longitud de distancia de frenado del vehículo	Aproximadamente 176 m
Ancho de la vía	4.15 m
Pendiente longitudinal de la vía de prueba	0.008%
Pendiente transversal de la vía de prueba	1%

**Fuente:** Autores

### 3.5.2 Vía con superficie de Grava

Ubicada junto al centro comercial Oasis Av. 2B N-E al norte de la ciudad de Guayaquil.



**Figura 22.** Ubicación de la vía empedrada y longitud de vía. **Fuente:** (Google, 2021)

Esta vía empedrada se utilizó para las pruebas de ruta debido a su gran extensión de terreno como se observa en la figura 23.



**Figura 23.** Vía para la prueba de ruta con superficie empedrada. **Fuente:** Autores

A continuación, se muestra las características de la superficie de vía escogida para realizar las pruebas de adherencia, que se encuentran detallados en la tabla 7.

**Tabla 7**

*Características de la vía empedrada.*

Longitud de la vía para las pruebas	Aproximadamente 400 m
Longitud de distancia de frenado del vehículo	Aproximadamente 176 m
Ancho de la vía	4.50 m
Pendiente longitudinal de la vía de prueba	1%
Pendiente transversal de la vía de prueba	1%

**Fuente:** Autores

## CAPÍTULO III

### 4 PROCEDIMIENTO PARA EL CÁLCULO DE CENTRO DE GRAVEDAD Y PRUEBAS DE CAMPO

En este capítulo se detalla el procedimiento que se utilizó para lograr determinar el centro de gravedad en el vehículo y además se detalla las condiciones y verificaciones que se implementó para obtener los valores de las pruebas de adherencia.

#### 4.1 Cálculo del centro de gravedad

Se procedió a obtener los datos de los pesos del eje delantero, eje posterior y peso total de vehículo con el fin de demostrar el valor del centro de gravedad y donde se encuentra ubicado en el vehículo de prueba. De manera que se tomaron dos mediciones, de las cuales se calcula un promedio para así poder garantizar fiabilidad en los resultados y en la máquina de pesar utilizada.

El pesaje del vehículo se realizó en el norte de la ciudad de Guayaquil en la empresa Bascula Guayaquil B.D. donde se obtuvieron los diferentes datos necesarios para calcular el centro de gravedad.



*Figura 24.* Toma de dos mediciones del peso total del vehículo. *Fuente:* Autores



*Figura 25.* Toma de dos mediciones del peso del eje delantero del vehículo. *Fuente:* Autores



**Figura 26.** Toma de dos mediciones del peso del eje posterior del vehículo. **Fuente:** Autores

Como se puede observar en la tabla 8. Se obtuvieron los valores de los pesos de los tres diferentes requerimientos.

**Tabla 8.**

*Datos de pesos obtenidos de las diferentes posiciones.*

Posición	1era medición	2da medición	Promedio
Peso Total del Automóvil	1230 kg	1230 kg	1230 kg
Peso del eje Delantero	730 kg	730 kg	730 kg
Peso del eje Posterior	480 kg	500 kg	490 kg
Angulo de Inclinación	14.23°		

**Fuente:** Autores

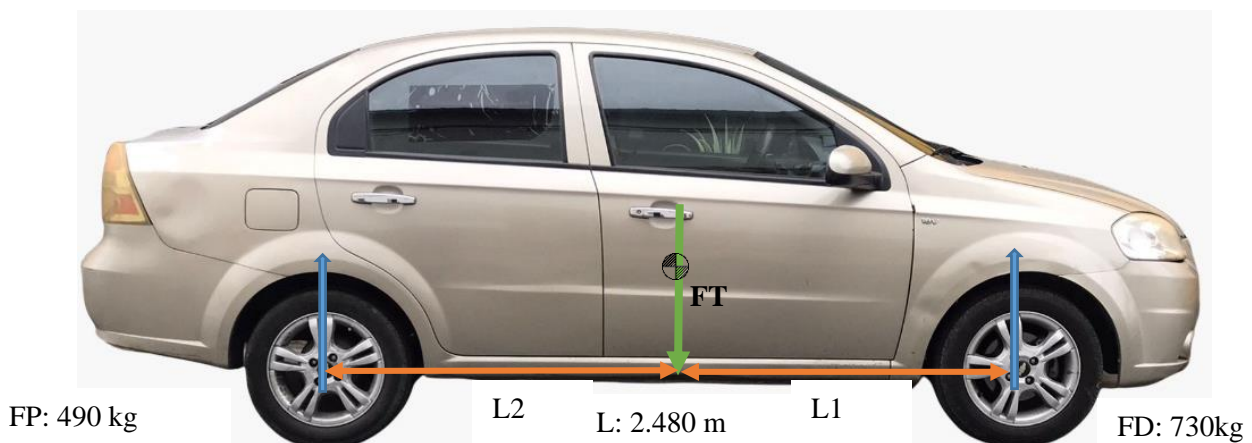
Como se observa el peso total del automóvil durante el pesaje arroja un valor mayor del que menciona la ficha técnica del fabricante tabla 9. esto se debe a que en las pruebas se está considerando el peso del conductor de 73 kg adicional al peso real del automóvil.

**Tabla 9.***Especificaciones Técnicas de Aveo Emotion.*

ESPECIFICACIONES	
MARCA	Chevrolet
MODELO	Aveo Emotion
LARGO (mm)	4310
ANCHO (mm)	1710
ALTO (mm)	1505
DISTANCIA ENTRE EJE (mm)	2480
MASA (kg)	1125

**Fuente:** (Carlos, 2014)

A continuación, se realiza el procedimiento para calcular el centro de gravedad haciendo uso de fórmulas ya conocidas como sumatoria de fuerzas en eje Y, de manera que se dará a conocer con exactitud la distancia del centro de gravedad del vehículo de prueba.

**Figura 27.** Diagrama de Fuerzas y distancias. **Fuente:** Autores

$$FT = FD + FP$$

Donde:

FT: Peso total del vehículo

FD: Peso del eje delantero

FP: Peso del eje posterior

$$\sum My=0$$

$$FT(L2)-FD(L)=0$$

$$L2=\frac{FD(L)}{FT}$$

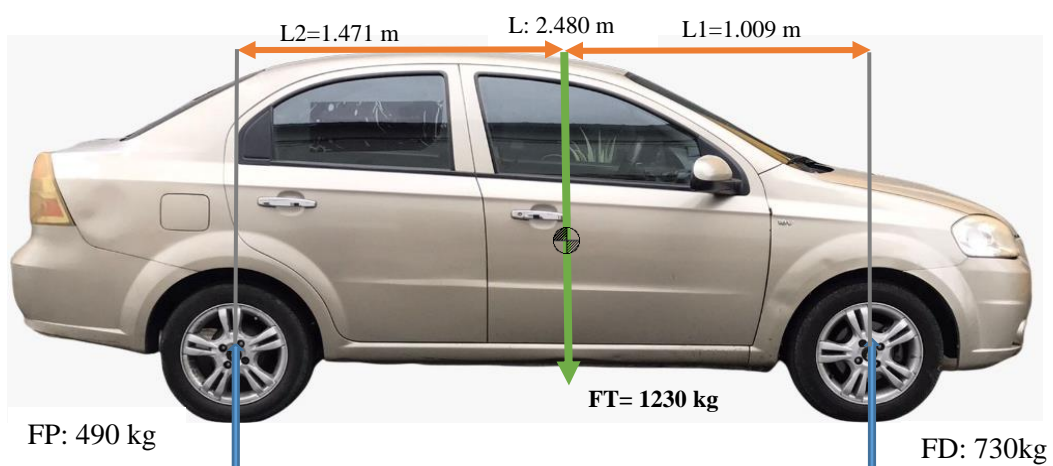
$$L2=\frac{730\text{kg}*(2.480\text{m})}{1230\text{ kg}}=1.471\text{m}$$

Como se conoce las fuerzas que actúan en cada eje del vehículo lo que se realizó es despejar la distancia del eje posterior L2 ya que esta no se la conoce.

Para obtener la distancia que existe del eje delantero al centro de gravedad se puede obtener L1 despejándolo de la longitud L, ya que este valor es la distancia entre ejes de 2.480m.

$$L1=L - L2$$

$$L1= 2.480\text{ m} - 1.471\text{ m} \quad L1= 1.009\text{ m}$$

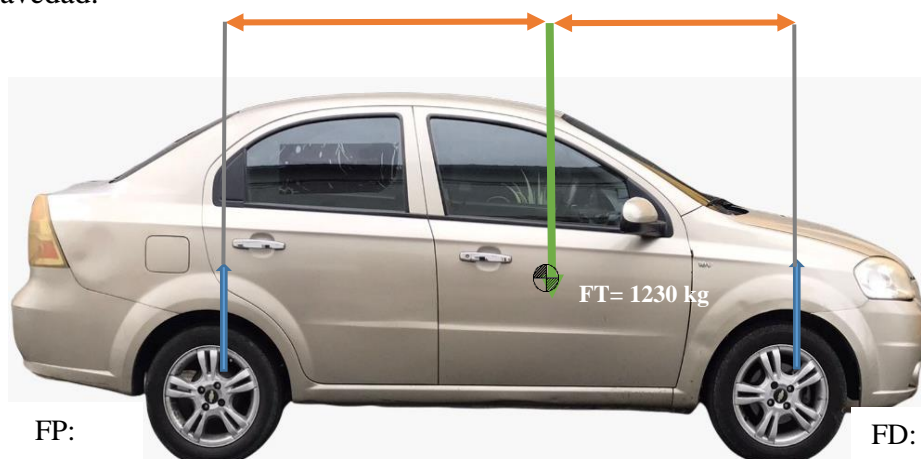


**Figura 28.** Determinación de la distancia L1 del eje delantero al centro de gravedad. **Fuente:**

*Autores*



De la misma manera se realiza los cálculos teóricos de las fuerzas FD y FP, siendo aquellas fuerzas que interactúan en el vehículo de prueba, por lo tanto, se dará a conocer el peso de cada uno de los ejes a partir del peso del automotor  $s$   $L: 2.480$   $L_2=1.471m$   $L_1=1.009m$  y de la distancia de su centro de gravedad.



**Figura 29.** Determinación de FD y FP fuerzas teóricas en el vehículo de prueba. **Fuente:**

*Autores*

$$\sum M_{Fp}=0$$

$$FT(L_2)-FD(L)=0$$

$$FD=\frac{FT(L_2)}{L}$$

$$FD=\frac{1125\text{kg}\cdot(1.471\text{m})}{2.480\text{m}}=667.28 \text{ kg (fuerza FD teórica)}$$

$$\sum M_{FD}=0$$

$$FT(L_1)-FP(L)=0$$

$$FP=\frac{FT(L_1)}{L}$$

$$FP = \frac{1125 \text{kg} * (1.009 \text{m})}{2.480 \text{m}} = 457.711 \text{ kg (fuerza FP teórica)}$$

$$FT = FD + FP$$

$$FT = 667.28 \text{ kg} + 457.711 \text{ kg}$$

$$FT = 1124.991 \text{ kg} = 1125 \text{ kg}$$

A continuación, se utilizará la ecuación del centro de gravedad ya que se tienen las distancias en relación a los ejes delanteros y posteriores y el peso total del vehículo. Ahora bien, se procede a aplicar el cálculo de la altura del centro de gravedad  $H_T$

De manera que para calcular  $H_T$ , se debe hallar  $H_1$  con respecto a los ejes, con el vehículo horizontal y  $H_2$  con respecto a los ejes con el vehículo inclinado.

Expresado,

$$H_T = H_1 + H_2$$

$$H_1 = \text{Radio Neumático} + \text{Altura de perfil}$$

$$H_2 = \frac{P(R \tan \theta + L_2) - FD(L_2 + L_1)}{P \tan \theta}$$

Donde,

$H_T$ : Altura del centro de gravedad

$H_1$ : Altura desde la línea del suelo hasta la línea entre ejes

$H_2$ : Altura desde la línea entre ejes hasta el centro de gravedad

$P$ : Peso neto del vehículo

$R$ : Diámetro del neumático

$L_2$ : Distancia desde el eje posterior al centro de gravedad

$L_1$ : Distancia del eje delantero al centro de gravedad

$FD$ : Peso del eje delantero inclinado

$\theta$ : Ángulo de inclinación del vehículo

A continuación, se realiza el desarrollo de las ecuaciones;

$$H1 = \text{Radio Neumático} + \text{Altura de perfil}$$

$$H1 = 0.1905 \text{ m} + 0.1072 \text{ m}$$

$$H1 = 0.2977 \text{ m}$$

Para H2 se expresa las variables de la siguiente forma;

$$P = 1125 \text{ kg}$$

$$R = 0.578 \text{ m}$$

$$\Theta = 14.23$$

$$L1 = 1.009 \text{ m}$$

$$L2 = 1.471 \text{ m}$$

$$FD = 730 \text{ kg}$$

$$H2 = \frac{P(R \tan \theta + L2) - FD(L2 + L1)}{P \tan \theta}$$

$$H2 = \frac{1125 \text{ kg} (0.578 \tan 14.23^\circ + 1.471 \text{ m}) - 730 \text{ kg} (1.471 + 1.009)}{1125 \text{ kg} * \tan 14.23^\circ}$$

$$H2 = \frac{1125 \text{ kg} (0.1465 \text{ m} + 1.471 \text{ m}) - 730 \text{ kg} (2.48 \text{ m})}{1125 \text{ kg} \times 0.2535}$$

$$H2 = \frac{1819.6875 \text{ kg m} - 1810.4 \text{ kg m}}{285.2956 \text{ kg}}$$

$$H2 = \frac{9.2875 \text{ kg m}}{285.2956 \text{ kg}} = 0.03255 \text{ m}$$

$$HT = H1 + H2$$

$$HT = 0.2977 \text{ m} + 0.03255 \text{ m}$$

$$HT = 0.330 \text{ m}$$

Como se observa en la figura 30 se muestra la ubicación del centro de gravedad, este se encuentra ubicado a una distancia  $L1 = 1.009 \text{ m}$  medido desde el centro del neumático delantero

hasta la parte posterior del vehículo a una altura  $HT = 0.330$  m tomando desde el nivel del suelo hasta el centro de gravedad.



**Figura 30.** Ubicación de la distancia del centro del neumático delantero al centro de gravedad.

**Fuente:** Autores



**Figura 31.** Determinación de la altura  $HT$  medida desde la base del carro. **Fuente:** Autores



**Figura 32.** Ubicación del centro de gravedad en el vehículo. **Fuente:** Autores

#### 4.2 Determinación de la velocidad del viento

Dentro del Reglamento Internacional ECE-13H establece que la velocidad máxima del viento no debe superar los 10 m/s. de manera que se procederá a calcular para los dos escenarios en los que se van a realizar las pruebas haciendo uso de la formula.

$$SSF = \frac{T}{2 * HT}$$

Donde,

SSF = Factor de estabilidad estática

T = ancho de la vía de prueba

HT = altura del centro de gravedad

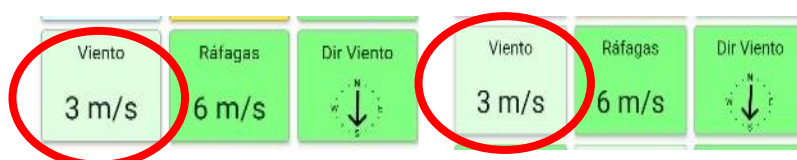
**Tabla 10**

*Valores de SSF para los 2 escenarios de pruebas*

Nº	Escenario de pruebas	SSF
1	Vía de Hormigón	6.28 m/s
2	Vía de Grava	6.81 m/s

*Fuente: Autores*

Como se puede observar en la tabla 10. Los resultados de SSF ambos cumplen con velocidad máxima propuesta por el reglamento, en cual resulta viable poder realizar las pruebas en los escenarios propuestos, además, también se utilizó la aplicación móvil UAV Forecast ya que esta herramienta ayuda a verificar la velocidad del viento, permitiendo detectar la ubicación exacta en donde se realiza la prueba.



**Figura 33.** Determinación de la velocidad del viento en los 2 escenarios. *Fuente: (Lloyd, 2015-2021)*

Como se puede ver en la figura 33. la velocidad del viento está dentro lo recomendado, así que antes de realizar cada prueba de ruta se verifica en la aplicación la velocidad del viento y las condiciones de temperatura, estando dentro de los parámetros que se mencionaron anteriormente, para así garantizar confiabilidad en los datos obtenidos a la hora de pruebas de adherencia.

#### 4.3 Determinación de la Distancia de frenado

Cuando se habla de calcular la distancia de frenado de un vehículo hace referencia a la eficacia del sistema de frenos que este posee. De forma que para medir la distancia de frenado este se determina mediante el tramo que el vehículo recorre hasta llegar a la velocidad deseada, entonces el conductor pisa el pedal de freno hasta que el vehículo se detenga por completo.

Determinando la distancia de frenado con la siguiente formula:

$$s \leq 0,1v + 0,0060v^2 \text{ (m)}$$

Calculando para las dos velocidades, siendo esta las distancias máximas empleadas durante las pruebas de campo;

**Tabla 11**

*Distancias máximas empleadas para las dos velocidades de prueba.*

Velocidad	Distancia de frenado	Unidad
50	20	m
70	36.4	m

*Fuente: Autor*

#### 4.4 Procedimiento para la obtención de resultados de las pruebas adherencia en superficie de Hormigón y Grava

Considerando el procedimiento para obtener los resultados se debe realizar una inspección mecánica del tren delantero del vehículo con el fin de garantizar la confiabilidad en los resultados y además la seguridad de los ocupantes durante todo el trayecto de las pruebas.

### A. Verificación del estado de los neumáticos

Hay que mencionar que los neumáticos con los que se encuentra el vehículo de prueba son de la marca WHIG 195/55 R15, de manera que se procedió a realizar una inspección visual para verificar el estado de la banda de rodadura del mismo, así que se utilizó el calibrador vernier para saber la profundidad del labrado.



**Figura 34.** Profundidad de labrado del neumático. **Fuente:** Autores

Estando en 5 milímetros de profundidad el labrado del neumático, considerándolo aun en buen estado lo que permite continuar con las pruebas.

### B. Presión de los neumáticos

Con la ayuda de un medidor de presión se verifico la presión de las cuatro llantas, rigiéndose por lo que indica el fabricante que debe estar en 30 libras, hay que tener en cuenta que esta medición de presión se debe realizar con los neumáticos en frio sin haber circulado.



**Figura 35.** Verificación y medición de la presión de los cuatro neumáticos. **Fuente:** Autores

### C. Verificación del sistema de freno

Se realizó el desmontaje, inspección, y limpieza al sistema de frenos, delantero de disco como posterior de tambor.

En la parte delantera se procedió a desmontar los discos y pastillas de freno haciendo una respectiva inspección y limpieza a las mordazas y por consiguiente cambiándolos por los discos y pastillas alternas para poder realizar las pruebas.



**Figura 36.** Limpieza de pistón de apriete e inspección de discos, cambio de discos y pastillas.

*Fuente: Autores*

En la parte posterior al momento de realizar el mantenimiento se encontró que los cilindros de freno de las ruedas posteriores estaban defectuosos por lo que ya no regresaban a su posición inicial al momento de soltar el pedal de freno entonces se procedió a cambiarlos.



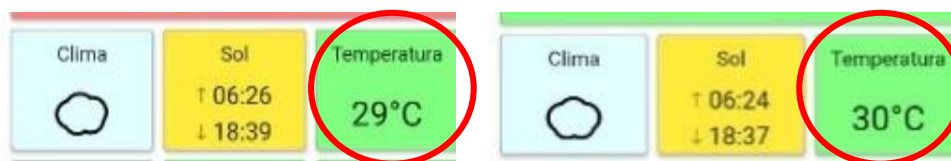
**Figura 37.** Cambio de cilindros de frenos posteriores. *Fuente: Autores*

Para las pruebas de campo en la superficie de Hormigón y de grava se considera el modelo factorial antes mencionados en el capítulo II, ya que este diseño muestra cómo estarán conformadas las pruebas que se deben realizar y estas dependerán de las repeticiones propuestas durante el diseño de experimentos.



A continuación, se detalla el procedimiento para la obtención de los resultados durante las pruebas de campo.

- a) Para las pruebas en superficies de Hormigón y Grava se tomaron los valores de temperatura ambiente haciendo uso de la aplicación UAV Forecast ya que esta también proporciona el indicador de la temperatura ambiente, la cual se situará entre 0 °C y 45 °C. según lo que establece el reglamento ECE 13-H. de manera que durante las pruebas la aplicación arrojó los siguientes resultados.



**Figura 38.** Verificación de la temperatura ambiente para las pruebas de ruta. **Fuente:** (Lloyd, 2015-2021)

cómo se observa en la figura 38 si se cumple con los valores de temperatura máximos y mínimos, estando para la superficie de Hormigón de 30°C y para la superficie de grava 29°C. entonces se continua con el siguiente procedimiento.

- b) También se tomó en consideración para ambos escenarios la temperatura inicial de los discos de frenos ya que estos deben estar a una temperatura dentro del rango de 65°C a los 100°C. tomando este valor inicial de temperatura con el pirómetro al inicio de la prueba que se vaya a realizar, por lo tanto, una vez cumplida este requerimiento se procede a desarrollar las pruebas.



**Figura 39.** Verificación de la temperatura inicial del disco. **Fuente:** Autores

- c) Ya en los escenarios se consideró que el vehículo debe estar con todos los vidrios arriba para así evitar fuerzas contrarias a la velocidad que va a desarrollar el vehículo. Como se observó en la figura 14, una la de las variables independientes es la velocidad del vehículo siendo está a 50 km/h considerada una velocidad con la que se puede circular en sectores urbanos y la velocidad de 70 km/h se ha considerado en un rango moderado de circulación.
- d) Durante las pruebas se ubicaron conos como punto de partida, uno en el punto en donde se alcanza la velocidad de 50km/h y otro donde se llega a 70 km/h. siendo de ayuda a la hora de tomar la distancia de frenado y el tiempo de frenado. además, las huellas que deja el neumático sobre la calzada servirán como guía. En las pruebas de campo se decidió realizar tres repeticiones para las pruebas de ruta con cada uno de los escenarios escogidos.



**Figura 40.** Medición de la distancia de frenada en los 2 escenarios de pruebas. **Fuente:**  
*Autores*

#### 4.5 Coeficiente de fricción para las superficies de prueba

Los siguientes escenarios donde se realizaron las pruebas de ruta presentan los siguientes valores del coeficiente de fricción como se aprecia en la tabla 12. Siendo hormigón seco y grava los escenarios principales teniendo una mejor adherencia en la superficie de hormigón seco.

Hay que tener en consideración que existen factores físicos que intervienen en las pruebas de adherencia como: el estado y tipo de calzada (escenarios), tipo de neumáticos y tren delantero del automóvil. De igual manera están presentes ciertos factores químicos siendo estos: la velocidad y dirección del aire, temperatura ambiente y la humedad. (Carlos Francisco Cevallos Arboleda, Agosto 2016)

**Tabla 12.**

*Valores promedio del coeficiente de fricción.*

Superficie de rodamiento	Valor máximo de $\mu$	valor de deslizamiento de $\mu$
Asfalto seco	0.8-0.9	0.75
Hormigón seco	0.8-0.9	0.76
Asfalto Húmedo	0.5-0.7	0.45-0.6
Hormigón Húmedo	0.8	0.7
Grava	0.6	0.55
Nieve	0.2	0.15
Hielo	0.1	0.07

**Fuente:** (Gustavo R. Di Rado)

#### 4.6 Determinación de la desaceleración del vehículo

El proceso de desaceleración se considera con signo negativo (-) a la aceleración, debido a que en este caso se experimenta el tiempo que tarda el vehículo en detenerse una vez que el conductor haya presionado el pedal del freno, alcanzada las velocidades de 50 km/h y 70 km/h que son con las que se considera para esta investigación.

$$d = -\frac{\Delta \text{velocidad}}{\text{tiempo}} = -\frac{V_i - V_f}{\text{tiempo}}$$

Donde;

d = desaceleración

$V_i$  = velocidad inicial (m/s)

$V_f$  = velocidad final (m/s)

t = tiempo transcurrido (s)

#### 4.7 Determinación de la eficacia del frenado

Para determinar la eficacia que tendría que tener el sistema de frenos del vehículo de prueba hay que tomar en consideración ciertos aspectos que son importantes y pueden causar variación en la eficacia real del sistema de frenos siendo estos los siguientes:

- El tipo de coeficiente de adherencia
- La fuerza de frenado
- El peso del vehículo

De manera que para determinar la eficacia de frenado esta se mide de forma porcentual, considerando como valor máximo el 100% cuando la deceleración de la gravedad está en 9.8 m/s<sup>2</sup>.

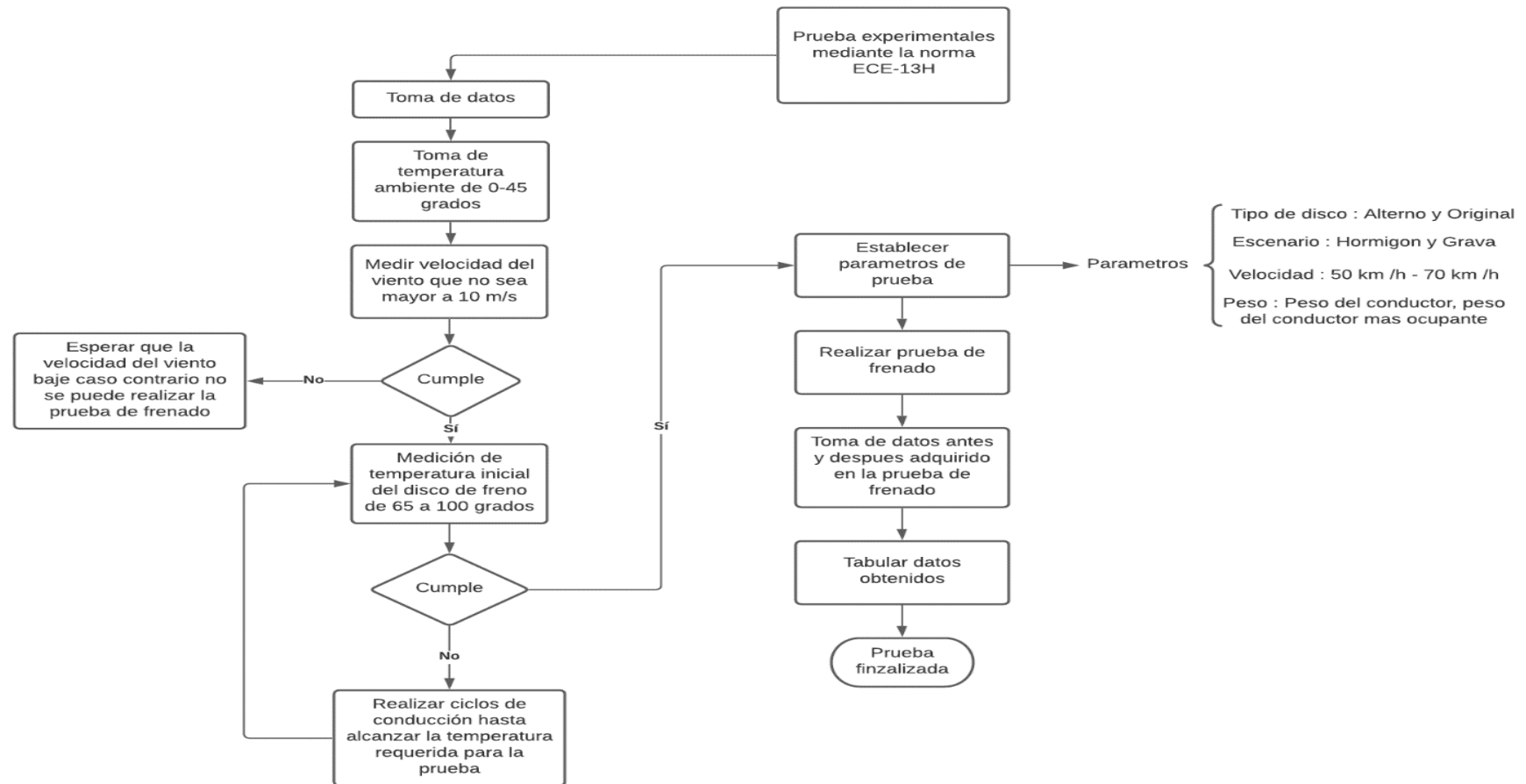
La eficacia está comprendida por la siguiente formula:

$$\text{EFICACIA \%} = \frac{\text{desaceleración}}{\text{gravedad}} \times 100$$

Ya que será útil poder determinar la eficacia del sistema de frenos mediante los datos obtenidos en las pruebas de campo, siendo conveniente para la investigación que se está realizando.

#### 4.8 Diagrama de Flujo

Para las pruebas experimentales de frenado en cual nos basamos por partes del reglamento ECE -13H, lo realizamos mediante un diagrama de flujo el cual nos ayudara a mejorar las instrucciones de un proceso y claramente de su funcionamiento.



**Figura 41.** Diagrama de flujo para realizar las pruebas de frenado. **Fuente:** Autores

#### 4.9 Valores obtenidos en superficie de Hormigón y grava a 50 km/h y 70 km/h incluido el peso de dos ocupantes

Una vez concluidas todas las pruebas con las repeticiones propuestas, se muestran las tablas de datos de prueba de frenado tanto para hormigón como en grava. Para la interpretación de la misma se tomó la temperatura inicial de cada disco delantero y por consiguiente se realizó un promedio. De igual manera se procedió a realizar a las temperaturas finales y así hasta completar cada repetición.

Para determinar el tiempo de frenado se recurrió al uso de un cronometro digital midiendo desde el momento que el conductor acciona el pedal del freno hasta que el vehículo se detiene por completo. Hay que tomar en consideración el tiempo y las horas en las que se empleó cada desarrollo de pruebas de campo, de manera que debido a las condiciones ambientales en la época de invierno en la zona costera de Ecuador fue necesario hacerlos en la tarde a partir de las 14:00 p.m. ya que así nos asegurábamos que la calzada este completamente seca y de esa forma evitar que influya de manera negativa a los resultados de las pruebas de adherencia. Teniendo en consideración el tiempo empleado para desarrollar solo un escenario con las tres repeticiones se llegó a un tiempo de aproximadamente 45 minutos debido a que se tenía que tomar en cuenta que los factores de ruido propuestos en el diseño de experimentos no afecten a las variables de salida, siendo así se tomaba la temperatura inicial y se monitoreaba la velocidad del viento.

Además se realiza el cálculo de la desaceleración y de la eficacia del sistema de frenos para todos las pruebas, considerando los resultados obtenidos del tiempo de frenado para las diferentes velocidades empleadas, a 50km/h y 70km/h con las diferentes superficies de vía: Hormigón y grava teniendo en cuenta que se emplearon disco alterno y original con condiciones de peso de un ocupante y con peso del copiloto, siendo estos valores comparados en las mismas condiciones con las que se tomaron las pruebas de ruta.

Datos:

$$v_i = \frac{50\text{km}}{\text{h}} = 13.88 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$v_i = \frac{70\text{km}}{\text{h}} = 19.44 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$t$ : tiempo determinado mediante el promedio de cada repetición en la prueba de ruta.

**Tabla 13**

*Recolección de datos en superficie de Hormigón a 50 km/h con Discos Alternos.*

DATOS DE PRUEBA DE FRENADO EN SUPERFICIE DE HORMIGÓN A 50 Km/h											
Nº DE PRUEBAS	TEMP. AMBIENTE C°	TEMP. INICIAL DEL DISCO C°			Peso del vehiculo	TEMP. FINAL DEL DISCO C°			TIEMPO DE FRENADO CON CRONOMETRO (S)	DISTANCIA DE FRENADO (m)	Velocidad del viento (m/s)
		IZQUIERDA	DERECHA	MEDIA		IZQUIERDA	DERECHA	MEDIA			
1	28	66.5	67.1	66.8	1230 kg	68	67.4	67.7	1.75	6.48	1 M/S
2	27	68.7	69.4	69.05		73.4	76.6	75	1.66	5.14	
3	28	66.2	67.6	66.9		67.8	68.3	68.05	1.49	7.1	

*Fuente: Autores*

**Tabla 14**

*Recolección de datos en superficie de Hormigón a 50 km/h con Discos Originales.*

DATOS DE PRUEBA DE FRENADO EN SUPERFICIE DE HORMIGÓN A 50 Km/h											
Nº DE PRUEBAS	TEMP. AMBIENTE C°	TEMP. INICIAL DEL DISCO C°			Peso del vehiculo	TEMP. FINAL DEL DISCO C°			TIEMPO DE FRENADO CON CRONOMETRO (S)	DISTANCIA DE FRENADO (m)	Velocidad del viento (m/s)
		IZQUIERDA	DERECHA	MEDIA		IZQUIERDA	DERECHA	MEDIA			
1	28	86.8	83	84.9	1230 kg	91.1	89	90.05	1.47	8.45	2 M/S
2	27	85.9	73.5	79.7		90.3	75.4	82.85	1.6	10.29	
3	28	79.8	73.2	76.5		89.9	82.4	86.15	1.53	9.21	

*Fuente: Autores*

**Tabla 15**

*Recolección de datos en superficie de Hormigón a 50 km/h incluido el peso del copiloto con Discos Alternos.*

DATOS DE PRUEBA DE FRENADO EN SUPERFICIE DE HORMIGÓN A 50 Km/h + PESO DE DOS OCUPANTES											
Nº DE PRUEBAS	TEMP. AMBIENTE C°	TEMP. INICIAL DEL DISCO C°			Peso del vehiculo	TEMP. FINAL DEL DISCO C°			TIEMPO DE FRENADO CON CRONOMETRO (S)	DISTANCIA DE FRENADO (m)	Velocidad del viento (m/s)
		IZQUIERDA	DERECHA	MEDIA		IZQUIERDA	DERECHA	MEDIA			
1	28	75.1	71.3	73.2	1305 kg	82.2	77.3	79.75	1.96	8.6	1 M/S
2	27	76.2	73.7	74.95		82.3	74.6	78.45	1.51	6.95	
3	28	74	71.2	72.6		74.6	72.9	73.75	1.63	7.29	

*Fuente: Autores*

**Tabla 16**

*Recolección de datos en superficie de Hormigón a 50 km/h incluido el peso del copiloto con Discos Originales.*

DATOS DE PRUEBA DE FRENADO EN SUPERFICIE DE HORMIGÓN A 50 Km/h + PESO DE DOS OCUPANTES											
Nº DE PRUEBAS	TEMP. AMBIENTE C°	TEMP. INICIAL DEL DISCO C°			Peso del vehiculo	TEMP. FINAL DEL DISCO C°			TIEMPO DE FRENADO CON CRONOMETRO (S)	DISTANCIA DE FRENADO (m)	Velocidad del viento (m/s)
		IZQUIERDA	DERECHA	MEDIA		IZQUIERDA	DERECHA	MEDIA			
1	29	68.4	66.5	67.45	1305 kg	76.3	81.4	78.85	1.57	8.18	2M/S
2	28	77	78.8	77.9		78.1	81.1	79.6	1.46	6.36	
3	28	69.2	69.4	69.3		79.7	73.3	76.5	1.5	7.74	

*Fuente: Autores*



Se tiene los resultados vistos en las tablas de datos de las prueba en superficie de hormigón que corresponden a la prueba realizada en una superficie de Hormigón a una velocidad de 50 km/h haciendo la combinación de los diferentes discos y aumento el peso del vehículo, entonces podemos observar que para ambas pruebas la temperatura inicial está dentro del rango establecido anteriormente, de la misma forma los valores de la temperatura final durante las tres repeticiones que se realizaron se cumplieron los valores establecidos de la velocidad del viento y temperatura ambiente.

#### 4.9.1 Desaceleración en superficie de Hormigón a 50 km/h

Se procede a calcular la desaceleración cuando el vehículo alcanza una velocidad de 50 km/h, incluido el peso del conductor y con la variación de los discos alternos como originales.

**Tabla 17**

*Desaceleración a 50 km/h con diferentes tipos de discos de frenos*

Desaceleración en superficie pavimentada a 50 km/h		
Discos Alternos	Unidades	Discos Originales
-8.49	m/s <sup>2</sup>	-9.05

*Fuente: Autores*

Como se observa en la tabla 17. En una superficie de Hormigón a 50 km/h al usar discos originales el vehículo presenta una mayor reducción en su rapidez, lo que se traduce que es más rápida en detenerse por completo a diferencia de los discos alternos.

#### 4.9.2 Eficacia del sistema de frenado en hormigón a 50km/h

Se procede a calcular el valor de la eficacia del frenado una vez obtenida el valor de la desaceleración.

**Tabla 18**

*Comparación de la eficacia a 50 km/h con diferentes tipos de discos de frenos*

Eficacia de frenado en pavimento a 50 km/h		
Discos Alternos	Unidades	Discos Originales
86.62	%	92.27

*Fuente: Autores*

Haciendo uso de la fórmula de la eficacia se determina que a una velocidad de 50 km/h usando discos originales, lo cual brinda un mayor porcentaje de eficacia de frenado llegando a 92.27% vs al 86.62% que proporciona al usar un disco alterno.

#### 4.9.3 Desaceleración en superficie de Hormigón a 50 km/h con peso de dos ocupantes

De la misma manera se procede a determinar la desaceleración del sistema de frenos, pero ahora incluyendo la variable adicional del peso 1305kg obteniendo los siguientes resultados.

**Tabla 19.**

*Comparación de la desaceleración a 50 km/h incluido el peso del copiloto con diferentes tipos de discos de frenos*

Desaceleración en superficie pavimentada a 50 km/h + 2 ocupantes		
Discos Alternos	Unidades	Discos Originales
-8.16	m/s <sup>2</sup>	-9.19

*Fuente: Autores*

Los resultados de la desaceleración incluida la variable adicional de peso como se aprecia en la tabla 19, se observa que el vehículo reduce su rapidez al usar discos originales teniendo una diferencia de 1.03 m/s<sup>2</sup> con respecto a los discos alternos.

#### 4.9.4 Eficacia del sistema de frenado en hormigón a 50km/h con peso de dos ocupantes

Una vez obtenido los valores de la desaceleración para ambos discos, se emplea la fórmula para determinar el porcentaje de eficacia del sistema de frenado, teniendo los siguientes resultados.

**Tabla 20.**

*Comparación de la eficacia a 50 km/h + 2 ocupantes, con diferentes tipos de discos de frenos*

Eficacia de frenado en pavimento a 50 km/h + 2 ocupantes		
Discos Alternos	Unidades	Discos Originales
83.22	%	93.7

*Fuente: Autores*

Teniendo una mayor eficacia de frenado calculada de un 93.7% para discos originales teniendo una diferencia de 15.48% con respecto a los discos alternos que posee un 83.22 %.

**Tabla 21**

*Recolección de datos en superficie de Hormigón a 70 km/h con Discos Alternos.*

DATOS DE PRUEBA DE FRENADO EN SUPERFICIE DE HORMIGÓN A 70 Km/h											
Nº DE PRUEBAS	TEMP. AMBIENTE C°	TEMP. INICIAL DEL DISCO C°			Peso del vehiculo	TEMP. FINAL DEL DISCO C°			TIEMPO DE FRENADO CON CRONOMETRO (S)	DISTANCIA DE FRENADO (m)	Velocidad del viento (m/s)
		IZQUIERDA	DERECHA	MEDIA		IZQUIERDA	DERECHA	MEDIA			
1	28	70	71.5	70.75	1230 kg	82.3	74.6	78.45	2.46	17.35	1 M/S
2	28	80.1	81.6	80.85		87.3	90.1	88.7	2.23	12	
3	28	73	72	72.5		73.6	72.7	73.15	2.35	13.03	

*Fuente: Autores*

**Tabla 22**

*Recolección de datos en superficie de Hormigón a 70 km/h con Discos Originales*

DATOS DE PRUEBA DE FRENADO EN SUPERFICIE DE HORMIGÓN A 70 Km/h											
Nº DE PRUEBAS	TEMP. AMBIENTE C°	TEMP. INICIAL DEL DISCO C°			Peso del vehiculo	TEMP. FINAL DEL DISCO C°			TIEMPO DE FRENADO CON CRONOMETRO (S)	DISTANCIA DE FRENADO (m)	Velocidad del viento (m/s)
		IZQUIERDA	DERECHA	MEDIA		IZQUIERDA	DERECHA	MEDIA			
1	28	85.9	85.7	85.8	1230 kg	87.5	88.8	88.15	2.35	16.4	1 M/S
2	28	74.8	75.4	75.1		91.5	88.7	90.1	2.27	15.4	
3	28	74.7	71.4	73.05		98.5	93.7	96.1	2.18	14.24	

*Fuente: Autores*

**Tabla 23**

*Recolección de datos en superficie de Hormigón a 70 km/h incluido el peso del copiloto con Discos Alternos.*

DATOS DE PRUEBA DE FRENADO EN SUPERFICIE DE HORMIGÓN A 70 Km/h + PESO DE DOS OCUPANTES											
Nº DE PRUEBAS	TEMP. AMBIENTE C°	TEMP. INICIAL DEL DISCO C°			Peso del vehiculo	TEMP. FINAL DEL DISCO C°			TIEMPO DE FRENADO CON CRONOMETRO (S)	DISTANCIA DE FRENADO (m)	Velocidad del viento (m/s)
		IZQUIERDA	DERECHA	MEDIA		IZQUIERDA	DERECHA	MEDIA			
1	28	84.5	86.7	85.6	1305 kg	90.2	91.3	90.75	2.12	15.42	1 M/S
2	28	90	91.5	90.75		93	93.1	93.05	1.94	15.02	
3	28	94	93.4	93.7		98.1	98.7	98.4	2.25	15.66	

*Fuente: Autores*

**Tabla 24**

*Recolección de datos en superficie de Hormigón a 70 km/h incluido el peso del copiloto con Discos Originales.*

DATOS DE PRUEBA DE FRENADO EN SUPERFICIE DE HORMIGÓN A 70 Km/h + PESO DE DOS OCUPANTES											
Nº DE PRUEBAS	TEMP. AMBIENTE C°	TEMP. INICIAL DEL DISCO C°			Peso del vehiculo	TEMP. FINAL DEL DISCO C°			TIEMPO DE FRENADO CON CRONOMETRO (S)	DISTANCIA DE FRENADO (m)	Velocidad del viento (m/s)
		IZQUIERDA	DERECHA	MEDIA		IZQUIERDA	DERECHA	MEDIA			
1	29	86.8	71.9	79.35	1305 kg	94.3	90.9	92.6	2.46	18.98	1 M/S
2	29	84.6	73.3	78.95		89.9	81.8	85.85	2	14.95	
3	29	77.6	75.2	76.4		93.3	98.4	95.85	2.32	17.16	

*Fuente: Autores*

A continuación, se analiza las tablas en la superficie de hormigón a 70km/h, con lo que a primera vista podemos ver que los valores de la temperatura inicial están dentro de los rangos de temperatura establecidos.

#### 4.9.5 Desaceleración en superficie de Hormigón a 70 km/h

Se procede a determinar la desaceleración que presenta el automotor al verse aumentando la velocidad a 70km/h en la superficie de Hormigón.

**Tabla 25**

*Comparación de la desaceleración a 70 km/h con diferentes tipos de discos de frenos*

Desaceleración en superficie pavimentada a 70 km/h		
Discos Alternos	Unidades	Discos Originales
-8.28	m/s <sup>2</sup>	-8.57

*Fuente: Autores*

Teniendo los siguientes resultados como se puede ver en la tabla 25. muestra un comportamiento de desaceleración para ambos discos bastante cercanos, teniendo una diferencia de 0.29 m/s<sup>2</sup> en los discos originales con respecto a la desaceleración en discos alternos.

#### 4.9.6 Eficacia del sistema de frenado en superficie de Hormigón a 70 km/h

Se emplea la fórmula para determinar el porcentaje de eficacia del sistema de frenado, analizando los siguientes resultados.

**Tabla 26**

*Comparación de la eficacia a 70 km/h con diferentes tipos de discos de frenos*

Eficacia de frenado en pavimento a 70 km/h		
Discos Alternos	Unidades	Discos Originales
84.44	%	87.42

*Fuente: Autores*

De manera que el vehículo presenta un porcentaje de eficacia mayor al usar discos originales con pastillas alternas siendo este de 87.42 % y teniendo solo una diferencia de 2.98% de eficacia con respecto a los discos de freno alternos con pastillas alternas.

#### 4.9.7 Desaceleración en superficie de Hormigón a 70 km/h con peso de dos ocupantes

De esa misma forma se realiza el análisis de las pruebas con una velocidad de 70 km/h, pero ahora adicionando más peso siendo este un total 1305 kg.

**Tabla 27**

*Comparación de la desaceleración a 70 km/h incluido el peso del copiloto con diferentes tipos de discos de frenos*

Desaceleración en superficie pavimentada a 70 km/h + 2 ocupantes		
Discos Alternos	Unidades	Discos Originales
-9.24	m/s <sup>2</sup>	-8.6

*Fuente: Autores*

Viendo en la tabla 27, los resultados obtenidos demuestran un comportamiento mejora en una vía de hormigón recorriendo a una velocidad de 70 km/h con un peso de 1305 kg, al usar discos alternos debido a que la reducción de su velocidad es mayor en relación a los discos originales.

#### 4.9.8 Eficacia del sistema de frenado en superficie de Hormigón a 70 km/h con peso de dos ocupantes

Se analiza el porcentaje de frenado de los 2 tipos de discos a una velocidad de 70 km/h incluido más peso dando como resultado una mayor eficacia en los discos alternos siendo este de 94.21 % en relación a los 87.68% de los discos originales.

**Tabla 28**

*Comparación de la eficacia a 70 km/h + peso de 2 ocupantes, con diferentes tipos de discos de frenos*

Eficacia de frenado en hormigón a 70 km/h + 2 ocupantes		
Discos Alternos	Unidades	Discos Originales
94.21	%	87.68

*Fuente: Autores*

La eficacia superior en el disco alternativo se tiene debido que en las pruebas de frenado se obtuvieron los valores de tiempo de frenado más bajo con respecto a las pruebas con discos originales.

**Tabla 29**

*Recolección de datos en superficie Grava a 50 km/h con Discos Alternos.*

DATOS DE PRUEBA DE FRENADO EN SUPERFICIE GRAVA A 50 Km/h											
Nº DE PRUEBAS	TEMP. AMBIENTE C°	TEMP. INICIAL DEL DISCO C°			Peso del vehiculo	TEMP. FINAL DEL DISCO C°			TIEMPO DE FRENADO CON CRONOMETRO (S)	DISTANCIA DE FRENADO (m)	Velocidad del viento (m/s)
		IZQUIERDA	DERECHA	MEDIA		IZQUIERDA	DERECHA	MEDIA			
1	28	65.7	68	66.85	1230 kg	72.4	75.4	73.9	2.51	14.64	3 M/S
2	29	69	68.7	68.85		70.5	71.6	71.05	2.43	13.5	
3	28	72	70	71		76.3	71.8	74.05	2.21	12.77	

*Fuente: Autores*

**Tabla 30**

*Recolección de datos en superficie Grava a 50 km/h con Discos Originales.*

DATOS DE PRUEBA DE FRENADO EN SUPERFICIE GRAVA A 50 Km/h											
Nº DE PRUEBAS	TEMP. AMBIENTE C°	TEMP. INICIAL DEL DISCO C°			PESO DEL VEHICULO	TEMP. FINAL DEL DISCO C°			TIEMPO DE FRENADO CON CRONOMETRO (S)	DISTANCIA DE FRENADO (m)	Velocidad del viento (m/s)
		IZQUIERDA	DERECHA	MEDIA		IZQUIERDA	DERECHA	MEDIA			
1	26	79.8	68.8	74.3	1230 kg	74.7	73.1	73.9	2.58	12.7	3 M/S
2	28	73.5	67.8	70.65		77.3	75	76.15	1.56	12.09	
3	27	71.5	68	69.75		80.8	74.6	77.7	1.53	13.05	

*Fuente: Autores*

**Tabla 31**

*Recolección de datos en superficie Grava a 50 km/h incluido el peso del copiloto con Discos Alternos.*

DATOS DE PRUEBA DE FRENADO EN SUPERFICIE GRAVA A 50 Km/h + PESO DE DOS OCUPANTES											
Nº DE PRUEBAS	TEMP. AMBIENTE C°	TEMP. INICIAL DEL DISCO C°			Peso del vehiculo	TEMP. FINAL DEL DISCO C°			TIEMPO DE FRENADO CON CRONOMETRO (S)	DISTANCIA DE FRENADO (m)	Velocidad del viento (m/s)
		IZQUIERDA	DERECHA	MEDIA		IZQUIERDA	DERECHA	MEDIA			
1	28	72.1	70.1	71.1	1305 kg	78.3	73.8	76.05	2.15	12.29	3 M/S
2	28	73.4	72.6	73		78.6	75.9	77.25	2.22	12.2	
3	28	74.2	71.4	72.8		77.9	72.3	75.1	2.3	13.91	

*Fuente: Autores*

**Tabla 32**

*Recolección de datos en superficie Grava a 50 km/h incluido el peso del copiloto con Discos Alternos.*

DATOS DE PRUEBA DE FRENADO EN SUPERFICIE GRAVA A 50 Km/h + PESO DE DOS OCUPANTES											
Nº DE PRUEBAS	TEMP. AMBIENTE C°	TEMP. INICIAL DEL DISCO C°			Peso del vehiculo	TEMP. FINAL DEL DISCO C°			TIEMPO DE FRENADO CON CRONOMETRO (S)	DISTANCIA DE FRENADO (m)	Velocidad del viento (m/s)
		IZQUIERDA	DERECHA	MEDIA		IZQUIERDA	DERECHA	MEDIA			
1	29	70.7	70.5	70.6	1305 kg	72.9	70.5	71.7	2.4	14.44	2M/S
2	28	72.2	69.5	70.85		72.4	70.1	71.25	2.3	12.98	
3	28	67.66	69.8	68.73		76.1	68.6	72.35	2.45	15.17	

*Fuente: Autores*



Ahora se procede a realizar el análisis de las pruebas de ruta empleadas en la superficie de grava manejando las mismas condiciones establecidas anteriormente, que son la temperatura inicial del disco y velocidad del viento para de esa forma obtener valores confiables.

#### 4.9.9 Desaceleración en superficie de grava a 50 km/h

Se ejecuta el mismo análisis desarrollado anteriormente viendo ahora cómo influyen los resultados por el cambio del coeficiente de adherencia que presenta este tipo de calzada.

**Tabla 33**

*Comparación de la desaceleración a 50 km/h con diferentes tipos de discos de frenos*

Desaceleración en superficie Grava a 50 km/h		
Discos Alternos	Unidades	Discos Originales
-5.82	m/s <sup>2</sup>	-7.34

**Fuente:** Autores

Teniendo una mayor desaceleración en la rapidez del vehículo al conducir en este tipo de calzada con discos originales y pastillas alternas, habiendo 1.52 m/s<sup>2</sup> de diferencia con respecto a la desaceleración al usar discos alternos.

#### 4.9.10 Eficacia del sistema de frenado en superficie de grava a 50 km/h

De igual manera analizando la eficacia que presenta el sistema de frenado al estar en superficie de grava se observa un mayor porcentaje de eficacia al usar discos originales con pastillas de freno alterna.

**Tabla 34**

*Comparación de la eficacia a 50 km/h con diferentes tipos de discos de frenos*

Eficacia de frenado en Grava a 50 km/h		
Discos Alternos	Unidades	Discos Originales
59.36	%	74.86

**Fuente:** Autores

En este análisis se tiene una diferencia del 15.5% más eficacia en discos originales en relación a los discos alternos con pastillas alternas.

#### 4.9.11 Desaceleración en superficie de grava a 50 km/h con peso de dos ocupantes

De igual forma se analiza los valores de la desaceleración del vehículo al estar sometido a una carga de 1305 kg, obteniendo mejores resultados cuando se emplean discos alternos con pastillas alternas.

**Tabla 35**

*Comparación de la desaceleración a 50 km/h incluido el peso del copiloto con diferentes tipos de discos de frenos*

<b>Desaceleración en superficie Grava a 50 km/h + 2 ocupantes</b>		
<b>Discos Alternos</b>	<b>Unidades</b>	<b>Discos Originales</b>
-6.24	m/s <sup>2</sup>	-5.82

*Fuente: Autores*

Como se observa en la tabla 35. se obtuvieron los siguientes resultados, puesto que en los discos alternos como se puede ver en la tabla 32. se consiguió valores más bajos de tiempo de frenado en relación a los discos originales. Teniendo una mayor reducción en su rapidez al pisar el pedal del freno.

#### 4.9.12 Eficacia del sistema de frenado en superficie de grava a 50 km/h con peso de dos ocupantes

Se analiza los resultados de la eficacia del sistema de frenos, teniendo un 63.63% de eficacia en este tipo de superficie y adicional el peso de los ocupantes en relación a los discos originales que no presentan un buen comportamiento bajo las mismas condiciones. Alcanzando así una diferencia de 4.27% adicional en discos alternos y pastillas alternas.

**Tabla 36**

*Comparación de la eficacia a 50 km/h + peso de 2 ocupantes, con diferentes tipos de discos de frenos*

<b>Eficacia de frenado en Grava a 50 km/h + 2 ocupantes</b>		
<b>Discos Alternos</b>	<b>Unidades</b>	<b>Discos Originales</b>
63.63	%	59.36

*Fuente: Autores*

**Tabla 37**

*Recolección de datos en superficie Grava a 70 km/h con Discos Alternos.*

DATOS DE PRUEBA DE FRENADO EN SUPERFICIE GRAVA A 70 Km/h											
N° DE PRUEBAS	TEMP. AMBIENTE C°	TEMP. INICIAL DEL DISCO C°			Peso del vehiculo	TEMP. FINAL DEL DISCO C°			TIEMPO DE FRENADO CON CRONOMETRO (S)	DISTANCIA DE FRENADO (m)	Velocidad del viento (m/s)
		IZQUIERDA	DERECHA	MEDIA		IZQUIERDA	DERECHA	MEDIA			
1	29	78.5	77.3	77.9	1230 kg	85	89.1	87.05	2.45	20.7	3 M/S
2	28	78	81.5	79.75		84.7	84.3	84.5	2.58	25.28	
3	27	81	80	80.5		85	82.9	83.95	2.58	21.65	

*Fuente: Autores*

**Tabla 38**

*Recolección de datos en superficie Grava a 70 km/h con Discos Originales.*

DATOS DE PRUEBA DE FRENADO EN SUPERFICIE GRAVA A 70 Km/h											
N° DE PRUEBAS	TEMP. AMBIENTE C°	TEMP. INICIAL DEL DISCO C°			Peso del vehiculo	TEMP. FINAL DEL DISCO C°			TIEMPO DE FRENADO CON CRONOMETRO (S)	DISTANCIA DE FRENADO (m)	Velocidad del viento (m/s)
		IZQUIERDA	DERECHA	MEDIA		IZQUIERDA	DERECHA	MEDIA			
1	26	75.2	70.6	72.9	1230 kg	84.9	72.6	78.75	2.52	26.2	3 M/S
2	28	72.6	65.1	68.85		75.6	72.3	73.95	2.6	27.25	
3	28	73.9	66.1	70		89.9	70.2	80.05	2.42	26.17	

*Fuente: Autores*

**Tabla 39**

*Recolección de datos en superficie Grava a 70 km/h incluido el peso del copiloto con Discos Alternos.*

DATOS DE PRUEBA DE FRENADO EN SUPERFICIE GRAVA A 70 Km/h + PESO DE DOS OCUPANTES											
Nº DE PRUEBAS	TEMP. AMBIENTE C°	TEMP. INICIAL DEL DISCO C°			Peso del vehiculo	TEMP. FINAL DEL DISCO C°			TIEMPO DE FRENADO CON CRONOMETRO (S)	DISTANCIA DE FRENADO (m)	Velocidad del viento (m/s)
		IZQUIERDA	DERECHA	MEDIA		IZQUIERDA	DERECHA	MEDIA			
1	28	76.4	79.4	77.9	1305 kg	89	87.6	88.3	2.73	24.57	3 M/S
2	28	82	75.6	78.8		95.1	89.9	92.5	2.73	28.59	
3	28	83.4	77.5	80.45		94.3	81.5	87.9	2.87	24.54	

*Fuente: Autores*

**Tabla 40**

*Recolección de datos en superficie Grava a 70 km/h incluido el peso del copiloto con Discos Originales.*

DATOS DE PRUEBA DE FRENADO EN SUPERFICIE GRAVA A 70 Km/h + PESO DE DOS OCUPANTES											
Nº DE PRUEBAS	TEMP. AMBIENTE C°	TEMP. INICIAL DEL DISCO C°			Peso del vehiculo	TEMP. FINAL DEL DISCO C°			TIEMPO DE FRENADO CON CRONOMETRO (S)	DISTANCIA DE FRENADO (m)	Velocidad del viento (m/s)
		IZQUIERDA	DERECHA	MEDIA		IZQUIERDA	DERECHA	MEDIA			
1	28	77.5	75.1	76.3	1305 kg	80.3	79.5	79.9	2.96	29.93	3 M/S
2	27	74.1	68.8	71.45		76.1	82.3	79.2	2.9	28.6	
3	26	71.4	70.8	71.1		78.3	75.6	76.95	3.2	25.06	

*Fuente: Autores*

Se emplea las mismas condiciones ambientales y físicas del disco para garantizar que los valores arrojados en las tablas en superficie de grava a 70 km/h, cumplen con lo establecido anteriormente, para establecer los valores de la desaceleración y la eficacia se realizara un promedio del tiempo de frenado de cada ciclo de prueba.

#### 4.9.13 Desaceleración en superficie Grava a 70 km/h

A continuación, se analiza los valores de la tabla 41, teniendo que en los discos originales con pastillas alternas se obtiene una mayor desaceleración al momento de presionar el pedal de freno.

**Tabla 41**

*Comparación de la desaceleración a 70 km/h con diferentes tipos de discos de frenos*

<b>Desaceleración en superficie Grava a 70 km/h</b>		
<b>Discos Alternos</b>	<b>Unidades</b>	<b>Discos Originales</b>
-7.66	m/s <sup>2</sup>	-7.73

*Fuente: Autores*

Teniendo una ligera diferencia en los discos originales de 0.07 m/s<sup>2</sup> en relación a los discos alternos. A pesar que la distancia de frenado al utilizar discos originales sea mayor a diferencia de los discos alternos que presentan un mayor tiempo de frenado y menos distancia de frenado como se muestra en las tablas 37-38.

#### 4.9.14 Eficacia del sistema de frenado en superficie Grava a 70 km/h

El porcentaje de eficacia es mayor al emplear discos originales con pastillas alternas teniendo un mejor comportamiento a la hora de emplear el pedal de frenado.

**Tabla 42**

*Comparación de la eficacia a 70 km/h con diferentes tipos de discos de frenos*

<b>Eficacia de frenado en Grava a 70 km/h</b>		
<b>Discos Alternos</b>	<b>Unidades</b>	<b>Discos Originales</b>
78.12	%	78.84

*Fuente: Autores*

Teniendo una diferencia de 0.72% de eficacia adicional en los discos originales en relación a los discos alternos.

#### 4.9.15 Desaceleración en superficie Grava a 70 km/h con peso de dos ocupantes

Analizando los siguientes resultados de la desaceleración en este tipo de terreno y al aumentar el peso del vehículo nos indica un mejor comportamiento en los discos alternos con pastillas alternas.

**Tabla 43**

*Comparación de la desaceleración a 70 km/h incluido el peso del copiloto con diferentes tipos de discos de frenos*

<b>Desaceleración en superficie Grava a 70 km/h + 2 ocupantes</b>		
<b>Discos Alternos</b>	<b>Unidades</b>	<b>Discos Originales</b>
-7	m/s <sup>2</sup>	-6.43

*Fuente: Autores*

En la tabla 43 indica que, al usar discos alternos y pastillas alternas bajo las condiciones de velocidad y carga mencionados, este brinda una mayor reducción en su rapidez al momento de realizar frenadas de emergencia, teniendo una diferencia de 0.57 m/s<sup>2</sup> en comparación al emplear discos originales y pastillas alternas.

#### 4.9.16 Eficacia del sistema de frenado en superficie Grava a 70 km/h con peso de dos ocupantes

Por último, calculando el porcentaje de eficacia del sistema de frenado bajo las siguientes condiciones, entonces como podemos notar existe mayor eficacia en los discos alternos y pastillas alternas.

**Tabla 44**

*Comparación de la eficacia a 70 km/h con diferentes tipos de discos de frenos*

<b>Eficacia de frenado en Grava a 70 km/h + 2 ocupantes</b>		
<b>Discos Alternos</b>	<b>Unidades</b>	<b>Discos Originales</b>
71.36	%	65.61

*Fuente: Autores*

Teniendo una diferencia 5.75% de eficacia en los discos alternos en comparación a los discos originales y además como se observa en las tablas 39-40, el tiempo y distancia de frenado es mayor en los discos originales lo que provoca una reducción en la desaceleración y eficacia.

#### 4.10 Cálculo dinámico del sistema de frenado.

Para el siguiente cálculo dinámico de sistema de freno tomaremos en consideración las siguientes variables principales como: velocidad (50-70km), peso del vehículo más ocupante con un total de 1230 kg y la masa del disco de freno tanto como alterno como original.

##### 4.10.1 Energía disipada por el sistema de freno

La energía disipada dado por el sistema de freno debe ser semejante a la energía cinética que poseen un automóvil al encontrarse en movimiento (Llivichuzhca), se considera un factor de masas rotativas para autos de  $1.05 \leq i \leq 1.5$  para esto consideramos el valor de 1.05 (adimensional) esto con el objetivo de precautelar la seguridad. (Lozada1, 2018)

$$i=1.05$$

$$m_{\text{auto}}=1230 \text{ kg} = \text{peso del auto más conductor.}$$

$$V_i^2=\text{velocidad inicial}$$

$$V_f=\text{velocidad final}=0 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$E_f = \frac{i \cdot m_{\text{auto}} \cdot ((V_i^2) - (V_f^2))}{2}$$

**Tabla 45**

Energía Disipada por el sistema de freno

Energía disipada por el sistema de freno		
Velocidad a km/h	Velocidad a m/s	Disco Alterno y original
50 km/h	13.89 m/s	124585.9 J
70 km/h	19.44 m/s	244037.71 J

*Fuente: Autores*

Generalmente la energía cinética ( $E_d$ ) producida por el movimiento es absorbida en los discos delanteros es del 70% y el porcentaje restante se va en los frenos traseros que este caso es en el tambor. (Ricardo Andrés García-León, 2018)

**Tabla 46***Energía cinética del disco de freno.*

<b>Energía Cinética de los discos delanteros</b>		
<b>Velocidad a km/h</b>	<b>Velocidad a m/s</b>	<b>Disco Alternativo y original</b>
50 km/h	13.89 m/s	87210.13 J
70 km/h	19.44 m/s	170826.4 J

*Fuente: Autores*

Del total de la energía que absorbe en el eje delantero, el disco de freno absorbe un 90% y el 10% a la pastilla de freno. (Llivichuzhca)

**Tabla 47***Energía Absorbida en los ejes delanteros.*

<b>Energía Absorbida en los ejes delanteros</b>		
<b>Velocidad a km/h</b>	<b>Velocidad a m/s</b>	<b>Disco Alternativo y original</b>
50 km/h	13.89 m/s	78489.12 J
70 km/h	19.44 m/s	153743.76 J

*Fuente: Autores*

Dado que en el eje delantero tiene dos discos de freno la energía disipada la dividiremos para dos para obtener la energía de cada disco.

**Tabla 48***Energía absorbida por cada disco de freno.*

<b>Energía Absorbida en los ejes delanteros por disco</b>		
<b>Velocidad a km/h</b>	<b>Velocidad a m/s</b>	<b>Disco Alternativo y original</b>
50 km/h	13.89 m/s	39244.56 J
70 km/h	19.44 m/s	76871.88 J

*Fuente: Autores*

La elevación de temperatura del conjunto de un freno se evalúa por la siguiente fórmula.

$$\Delta T = \frac{E_{\text{disco}}}{m \cdot C_p}$$

Donde:

$\Delta T$  = Diferencia de temperatura entre los discos y la temperatura ambiente (°C)



$E_{\text{disco}}$  = Energía cinética absorbida por un disco de freno – fundición gris (J).

$m$  = Masa del disco de freno (Kg).

$C_p$  = Calor específico del material del disco de freno =  $460.24 \frac{J}{kg} * ^\circ C$

$T_\infty$  = Temperatura ambiente  $28 ^\circ C$

**Tabla 49**

*Propiedades de componentes de freno*

Elementos	Energía calorífica K (J/s *m* °C)	Densidad $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	Calor específico (J/s *m* °C)
Disco de freno (Fundición Gris)	35.57	7100	460.24
Tambor de freno (Hierro)	80.2	7870	447
Pastilla (Carbón al silicio)	51.84	7817	669.4
Zapatillas		2204	

**Fuente:** (VLADIMIR, 2014)

Cabe mencionar que como estamos considerando parte del reglamento n° 13-H, parte del reglamento menciona que para realizar las pruebas de frenado el disco debe estar a una temperatura inicial entre  $65-100^\circ C$  y la temperatura ambiente entre  $0-45 ^\circ C$

- Cálculo de elevación de temperatura del disco de freno alterno con velocidades de 50 y 70 km/h

$$\Delta T = \frac{E_{\text{disco}}}{m * C_p} = 34.108 ^\circ C$$

$$T_1 = \Delta T + T_\infty = 62.108 ^\circ C$$

Un vehículo que pesa 1230 Kg a una velocidad de 50Km/h, con una temperatura ambiente de  $28^\circ C$ , la temperatura que se genera en el disco de freno ventilado es  $62.108$  grados.

$$\Delta T = \frac{E_{\text{disco}}}{m * C_p} = 66.81 ^\circ C$$

$$T_1 = \Delta T + T_\infty = 94.81 ^\circ C$$

**Tabla 50**

*Cálculo de elevación de temperatura del disco alterno.*

Cálculo de elevación de temperatura - Disco Alterno			
Velocidad a km/h	Masa del disco de freno	Temperatura ambiente °C	Disco de freno
50 km/h	5 kg	28°C	62.11°C
70 km/h	5 kg	28°C	94.81 °c

**Fuente:** Autores

Un vehículo que pesa 1230 Kg a una velocidad de 70Km/h, con una temperatura ambiente de 28°C, la temperatura que se genera en el disco de freno ventilado es 94.81 grados.

- Cálculo de elevación de temperatura del disco de freno original con velocidades de 50 y 70 km/h

$$\Delta T = \frac{E_{\text{disco}}}{m \cdot C_p} = 42.635 \text{ °C}$$

$$T_1 = \Delta T + T_{\infty} = 70.635 \text{ °C}$$

Un vehículo que pesa 1230 Kg a una velocidad de 50Km/h, con una temperatura ambiente de 28°C, la temperatura que se genera en el disco de freno ventilado es 70.635 grados.

$$\Delta T = \frac{E_{\text{disco}}}{m \cdot C_p} = 83.513 \text{ °C}$$

$$T_1 = \Delta T + T_{\infty} = 111.513 \text{ °C}$$

Un vehículo que pesa 1230 Kg a una velocidad de 70Km/h, con una temperatura ambiente de 28°C, la temperatura que se genera en el disco de freno ventilado es 111.513 grados.

**Tabla 51**

*Cálculo de elevación de temperatura del disco original*

Cálculo de elevación de temperatura - Disco Original			
Velocidad a km/h	Masa del disco de freno	Temperatura ambiente °C	Disco de freno
50 km/h	4 Kg	28°C	70.64 °c
70 km/h	4 Kg	28°C	11.513 °c

**Fuente:** Autores

#### 4.11 Tipos de convecciones que afectan al disco de freno

Los discos de freno se ven afectado por varios tipos de convecciones, dado que están sometidos a dos tipos de movimiento, el primero el movimiento que es producido por el motor y los ejes mediante las ruedas y el segundo por la traslación del vehículo al momento de desplazarse. (Ricardo Andrés García León, 2016)

##### 4.11.1 Convección frontal

Este tipo de convección altera a la periferia del disco de freno. El flujo de aire sobre el disco exhibe patrones complejos, el fluido que se aproxima al cilindro se ramifica y lo rodea, formando una capa envolvente, como consecuencia de que las partículas de fluido sobre el plano chocan contra el cilindro en el punto de estancamiento dando como una elevación de presión en ese punto. (Ricardo Andrés García-León, 2018)

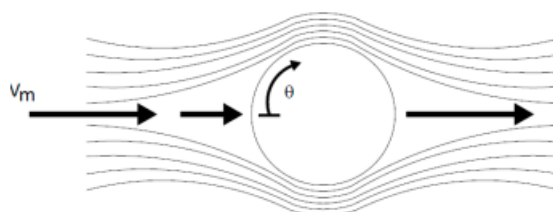
A continuación, se expresa el número de Reynolds teniendo en cuenta el flujo del fluido.

$Re \leq 1$ , Se tiene un flujo deslizante y el coeficiente de resistencia disminuye al aumentar el número de Reynolds.

$Re=10$  Presenta una separación de la parte posterior del cuerpo hasta  $Re=90$

$Re= 10^3$ , la región de separación aumenta y la resistencia al movimiento se debe principalmente a la resistencia por la presión.

Para  $10^3 < Re > 10^5$  el coeficiente de resistencia permanece más o menos constante, la separación del flujo ocurre alrededor de  $\theta=80^\circ$  (Ricardo Andrés García-León, 2018)



**Figura 42** Convección frontal del disco de freno. **Fuente:** (Yunus A. Çengel)

##### 4.11.2 Convección periférica

Se obtiene los valores de las propiedades del aire en una temperatura promedio del ambiente y de la superficie de fricción del disco en este caso la temperatura superficial.

Donde:

$T_s = T_1 =$ Temperatura Superficial

$T_\infty =$ Temperatura ambiente

$$T_f = \frac{T_s + T_\infty}{2}$$

$$x = T_f$$

El resultado de la temperatura de la convección periférica se puede calcular el número de Prandtl Pr, la Viscosidad cinemática  $\nu$  ( $\frac{m^2}{s}$ ), conductividad térmica  $k$  ( $\frac{W}{m} * ^\circ C$ ), mediante las Anexo tablas A-15 “*propiedades del aire a la presión de 1atm del libro de transferencia de calor Yunus A Çengel*”

**Tabla 52**

*Propiedad del aire.*

Tipo de disco	Velocidad	Peso	Temperatura	Numero de Prandtl	Viscosidad Cinemática	Conductividad Térmica del aire
Alternó	50 km/h	1230 Kg	45.05 °C	0.72410	1.751*10 <sup>-5</sup>	0.02699
	70 km/h	1230 Kg	61.41 °C	0.71980	1.91*10 <sup>-5</sup>	0.02818
	50 km/h	1305 Kg	46.06 °C	0.72380	1.761*10 <sup>-5</sup>	0.02707
	70 km/h	1305 Kg	63.44 °C	0.71930	1.93*10 <sup>-5</sup>	0.02833
Original	50 km/h	1230 Kg	49.32 °C	0.72300	1.791*10 <sup>-5</sup>	0.02730
	70 km/h	1230 Kg	69.76 °C	0.71780	1.993*10 <sup>-5</sup>	0.02879
	50 km/h	1305 Kg	50.62 °C	0.72260	1.804*10 <sup>-5</sup>	0.02739
	70 km/h	1305 Kg	72.3 °C	0.71710	2.018*10 <sup>-5</sup>	0.02898

**Fuente:** Autores

Se procedió con el cálculo del número de Reynolds donde:

$$Re = \frac{V_m * D}{\nu}$$

Re=Numero de Reynolds (adimensional)

$V_m =$ Velocidad del aire ( $\frac{m}{s}$ )

D=Diámetro del disco de freno (m)

**Tabla 53**

*Cálculo de numero de Reynolds para disco Original y alterno y de diferentes pesos.*

Tipo de disco	Velocidad	Peso	Numero de Reynolds
Alterno	50 km/h	1230 Kg	202337.256
	70 km/h	1230 Kg	185451.074
	50 km/h	1305 Kg	201189.916
	70 km/h	1305 Kg	183513.495
Original	50 km/h	1230 Kg	197714.423
	70 km/h	1230 Kg	177756.225
	50 km/h	1305 Kg	196346.751
	70 km/h	1305 Kg	175535.666

**Fuente:** Autores

Anexo B Tabla 7-1 “Sección transversal del cilindro del libro transferencia de calor de Yunus A Çengel”, la sección transversal del cilindro dado que el número de Reynolds se encuentra el rango de 40000-400000 el número de Nusselt es

$$Nu = 0.027 * Re^{0.805} * Pr^{\frac{1}{3}}$$

**Tabla 54**

*Cálculo de numero de Nusselt para disco Original y alterno y de diferentes pesos*

Tipo de disco	Velocidad	Peso	Numero de Nusselt
Alterno	50 km/h	1230 Kg	452.9170
	70 km/h	1230 Kg	421.4070
	50 km/h	1305 Kg	450.7920
	70 km/h	1305 Kg	417.7610
Original	50 km/h	1230 Kg	444.3410
	70 km/h	1230 Kg	406.8800
	50 km/h	1305 Kg	441.7960
	70 km/h	1305 Kg	402.6640

**Fuente:** Autores

Con el valor de Nusselt se puede encontrar el coeficiente de convección aplicando la siguiente ecuación:

$$h = \frac{k}{D} * Nu$$

$h$ =Coeficiente de convección ( $W/m^2 \cdot ^\circ C$ )

$k$ =Conductividad térmica

**Tabla 55**

*Cálculo de coeficiente de convección*

Tipo de disco	Velocidad	Peso	Coeficiente de convección
Alternativo	50 km/h	1230 Kg	47.945
	70 km/h	1230 Kg	46.574
	50 km/h	1305 Kg	47.852
	70 km/h	1305 Kg	46.414
Original	50 km/h	1230 Kg	47.572
	70 km/h	1230 Kg	45.941
	50 km/h	1305 Kg	47.462
	70 km/h	1305 Kg	45.759

**Fuente:** Autores

Se procede a calcular el área superficial de la periferia del disco.

$e_s$ =espesor del disco ( $m^2$ )

$$A_s = \pi \cdot D \cdot e_s$$

$$A_s = 0.019 \text{ m}^2$$

Teniendo todos estos valores, se puede encontrar el calor disipado por convección en la periferia.

$$Q = h \cdot A_s \cdot (T_s - T_\infty)$$

**Tabla 56***Cálculo de coeficiente de convección periférica*

Tipo de disco	Velocidad	Peso	Convección periférica
Alternativo	50 km/h	1230 Kg	31.441
	70 km/h	1230 Kg	59.826
	50 km/h	1305 Kg	33.294
	70 km/h	1305 Kg	46.414
Original	50 km/h	1230 Kg	38.996
	70 km/h	1230 Kg	73.766
	50 km/h	1305 Kg	41.278
	70 km/h	1305 Kg	77.953

**Fuente:** Autores

## 4.11.3 Convección en la campana.

Se toma los datos anteriores, y se considera el diámetro de la campana del disco.

Se procedió con el cálculo del número de Reynolds donde:

$$Re = \frac{V_m * D}{\nu}$$

Re=Numero de Reynolds (adimensional)

$V_m$ =Velocidad del aire ( $\frac{m}{s}$ )

D=Diámetro del disco de freno (m)

**Tabla 57***Cálculo de numero de Reynolds para disco Original y alternativo y de diferentes pesos.*

Tipo de disco	Velocidad	Peso	Numero de Reynolds
Alternativo	50 km/h	1230 Kg	107119.72
	70 km/h	1230 Kg	98179.98
	50 km/h	1305 Kg	106512.31
	70 km/h	1305 Kg	97154.20
Original	50 km/h	1230 Kg	104672.34
	70 km/h	1230 Kg	94106.24
	50 km/h	1305 Kg	103948.28
	70 km/h	1305 Kg	92930.65

**Fuente:** Autores

Anexo B Tabla 7-1 “Sección transversal del cilindro del libro transferencia de calor de Yunus A Çengel”, la sección transversal del cilindro dado que el número de Reynolds se encuentra el rango de 40000-400000 el número de Nusselt es

$$Nu=0.027*Re^{0.805}*Pr^{\frac{1}{3}}$$

**Tabla 58**

*Cálculo de numero de Nusselt para disco Original y alterno y de diferentes pesos*

Tipo de disco	Velocidad	Peso	Numero de Nusselt
Alterno	50 km/h	1230 Kg	271.4390
	70 km/h	1230 Kg	252.5550
	50 km/h	1305 Kg	270.1660
	70 km/h	1305 Kg	250.3700
Original	50 km/h	1230 Kg	266.2990
	70 km/h	1230 Kg	243.8480
	50 km/h	1305 Kg	264.7740
	70 km/h	1305 Kg	241.3220

**Fuente:** Autores

Con el valor de Nusselt se puede encontrar el coeficiente de convección aplicando la siguiente ecuación:

$$h=\frac{k}{D}*Nu$$

h=Coeficiente de convección (W/m<sup>2</sup>\*°C)

k=Conductividad térmica



**Tabla 59***Cálculo de coeficiente de convección*

Tipo de disco	Velocidad	Peso	Coefficiente de convección
Alternativo	50 km/h	1230 Kg	54.275
	70 km/h	1230 Kg	52.723
	50 km/h	1305 Kg	54.171
	70 km/h	1305 Kg	52.543
Original	50 km/h	1230 Kg	53.853
	70 km/h	1230 Kg	52.007
	50 km/h	1305 Kg	53.728
	70 km/h	1305 Kg	51.8

**Fuente:** Autores

Se procede a calcular el área superficial de la periferia de la campana.

$es =$  Espesor de la campana ( $m^2$ )

$$As = \pi * D * es$$

$$As = 0.007 \text{ m}^2$$

Teniendo todos estos valores, se puede encontrar el calor disipado por convección en la campana.

$$Q_c = h * As * (T_s - T_\infty)$$

**Tabla 60***Cálculo de coeficiente de convección campana*

Tipo de disco	Velocidad	Peso	Convección de campana
Alternativo	50 km/h	1230 Kg	13.347
	70 km/h	1230 Kg	25.397
	50 km/h	1305 Kg	14.134
	70 km/h	1305 Kg	26.853
Original	50 km/h	1230 Kg	16.554
	70 km/h	1230 Kg	31.315
	50 km/h	1305 Kg	17.523
	70 km/h	1305 Kg	33.092

**Fuente:** Autores

El calor disipado por convección periférica y de campana es

$$Q_{\text{total}}=Q+Q_c \text{ (W)}$$

**Tabla 61**

*Calculo total de calor periférico y de campana.*

Tipo de disco	Velocidad	Peso	Convección periférica + Campana
Alternativo	50 km/h	1230 Kg	44.79
	70 km/h	1230 Kg	85.22
	50 km/h	1305 Kg	47.43
	70 km/h	1305 Kg	90.11
Original	50 km/h	1230 Kg	55.55
	70 km/h	1230 Kg	105.08
	50 km/h	1305 Kg	58.801
	70 km/h	1305 Kg	111.045

**Fuente:** Autores

#### 4.11.4 Convección lateral

La traslación del vehículo a una cierta velocidad hace que el aire fluya en el disco de manera frontal, y no solo la parte frontal sino la parte lateral por lo que se desarrolla el análisis de pérdida de calor.

Se procede a calcular la viscosidad de Denver con la siguiente fórmula donde:

$$V_D = \frac{v}{p}$$

$V_D$ =Viscosidad cinemática de Denver ( $\frac{m^2}{s}$ )

$v$ =Viscosidad cinemática del aire( $\frac{m^2}{s}$ )

$p$ =Presión atmosférica 1 atm

**Tabla 62**

Cálculo de la viscosidad de Denver.

Tipo de disco	Velocidad	Peso	Viscosidad de Denver
Alternativo	50 km/h	1230 Kg	$1.751 \cdot 10^{-5}$
	70 km/h	1230 Kg	$1.91 \cdot 10^{-5}$
	50 km/h	1305 Kg	$1.761 \cdot 10^{-5}$
	70 km/h	1305 Kg	$1.93 \cdot 10^{-5}$
Original	50 km/h	1230 Kg	$1.791 \cdot 10^{-5}$
	70 km/h	1230 Kg	$1.993 \cdot 10^{-5}$
	50 km/h	1305 Kg	$1.804 \cdot 10^{-5}$
	70 km/h	1305 Kg	$2.018 \cdot 10^{-5}$

*Fuente: Autores*

Una vez realizado el cálculo de la viscosidad de Denver, procedemos con el cálculo de número de Reynolds

$$Re_L = \frac{v_m \cdot L}{\nu_D}$$

**Tabla 63**

Cálculo de número de Reynolds de la convección lateral del disco

Tipo de disco	Velocidad	Peso	Número de Reynolds
Alternativo	50 km/h	1230 Kg	206304.65
	70 km/h	1230 Kg	264640.64
	50 km/h	1305 Kg	205134.82
	70 km/h	1305 Kg	261875.69
Original	50 km/h	1230 Kg	201591.18
	70 km/h	1230 Kg	253660.01
	50 km/h	1305 Kg	200196.69
	70 km/h	1305 Kg	250491.25

*Fuente: Autores*

Dado los valores establecidos de los números de Reynolds es decir que el flujo laminar se usa la siguiente fórmula:

$$Nu = \frac{hL}{k} = 0.664 \cdot Re_L^{0.5} \cdot Pr^{\frac{1}{3}}$$

**Tabla 64**

*Cálculo de numero de Nusselt de la convección lateral del disco*

Tipo de disco	Velocidad	Peso	Numero de Nusselt
Alternativo	50 km/h	1230 Kg	270.82
	70 km/h	1230 Kg	306.13
	50 km/h	1305 Kg	270.02
	70 km/h	1305 Kg	304.458
Original	50 km/h	1230 Kg	267.58
	70 km/h	1230 Kg	299.43
	50 km/h	1305 Kg	266.61
	70 km/h	1305 Kg	297.46

**Fuente:** Autores

Con el coeficiente de Nusselt se calcula el coeficiente de convección de placas planas, mediante la siguiente formula

$$h = \frac{k}{l} * Nu$$

**Tabla 65**

*Cálculo de convección de placas planas.*

Tipo de disco	Velocidad	Peso	Convección para placas planas
Alternativo	50 km/h	1230 Kg	270.82
	70 km/h	1230 Kg	33.18
	50 km/h	1305 Kg	28.112
	70 km/h	1305 Kg	33.18
Original	50 km/h	1230 Kg	28.10
	70 km/h	1230 Kg	33.16
	50 km/h	1305 Kg	28.09
	70 km/h	1305 Kg	33.15

**Fuente:** Autores

Para el área superficial para la convección lateral es la misma calculada anteriormente que es el área de roce con la pastilla de freno.

$$A_s = 0.074 \text{ m}^2$$

La pérdida de calor para la convección lateral es:

$$Q = h * A_s * (T_s - T_\infty)$$

**Tabla 66**

*Transferencia de calor del disco parte lateral.*

Tipo de disco	Velocidad	Peso	Transferencia de calor del disco parte lateral
Alternativo	50 km/h	1230 Kg	70.50
	70 km/h	1230 Kg	162.98
	50 km/h	1305 Kg	74.786
	70 km/h	1305 Kg	172.88
Original	50 km/h	1230 Kg	88.06
	70 km/h	1230 Kg	203.57
	50 km/h	1305 Kg	93.411
	70 km/h	1305 Kg	215.95

*Fuente: Autores*

#### 4.12 Enfriamiento de newton

“Un objeto sometido a una temperatura T1 se enfriará si se deja a temperatura ambiente, de acuerdo con la ecuación exponencial” donde: (Boles, 2011)

$T_i$ = Temperatura instantánea en cada momento en °C

$A$ = Área de transferencia de calor en m<sup>2</sup>

$U$ = Coeficiente de transmisión térmica superficial de material en  $\frac{J}{s} * m^2 * ^\circ C$

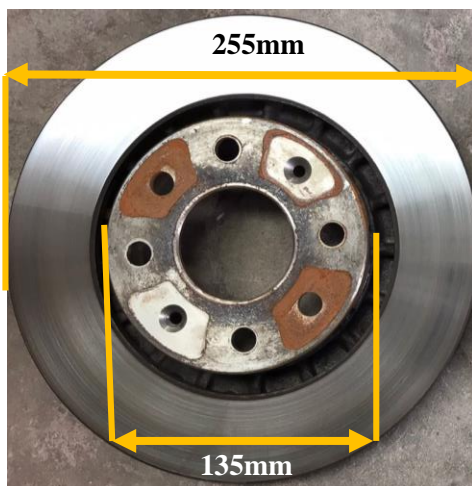
$m$ = Masa del disco de freno en Kg

$C_p$ = Calor específico del material en  $\frac{J}{Kg} * ^\circ C$

$t$ = Tiempo de enfriamiento de newton en segundos.

##### 4.12.1 Área de superficie de contacto

Como el disco de freno hace fricción con la pastilla de freno, el área aproximada se calcula con la siguiente fórmula:



**Figura 43.** Dimensiones del disco de freno *Fuente:* Autores

$$D_{\text{ext}}=255\text{m}$$

$$D_{\text{int}} = 135\text{m}$$

$$R_{\text{ext}}=\frac{D_{\text{ext}}}{2}=0.128\text{m}$$

$$R_{\text{int}}=\frac{D_{\text{int}}}{2}=0.068\text{m}$$

$$C_p = 460.24 \frac{\text{J}}{\text{Kg}}$$

$$U=32 \frac{\text{J}}{\text{s.m}^2}$$

$$k=42 \frac{\text{W}}{\text{m}}$$

$$A_{\text{disco}} = 2 * \pi * (R_{\text{ext}}^2 - R_{\text{int}}^2)$$

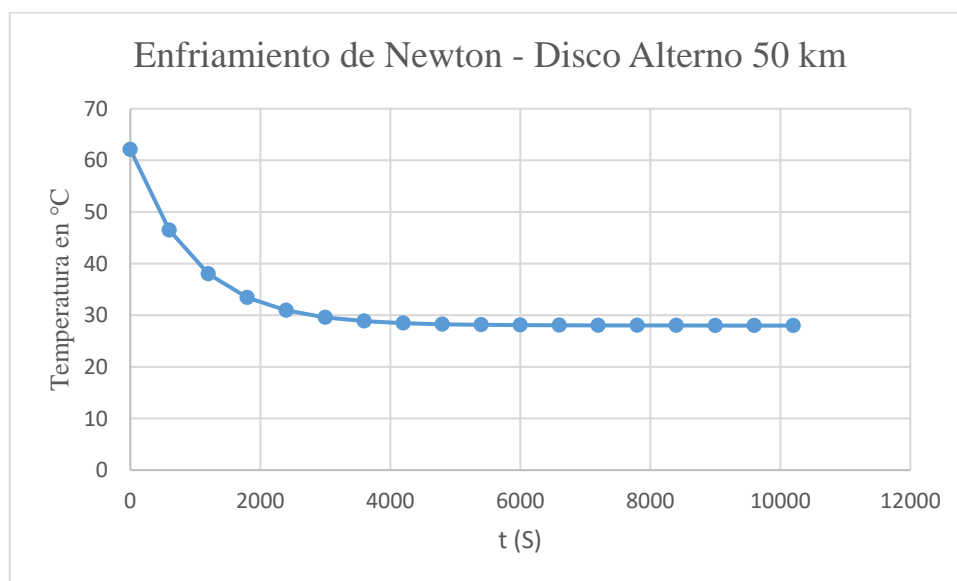
$$A_{\text{disco}} = 0.074\text{m}^2$$

**Tabla 67**

*Enfriamiento de newton a 50 km -Variación de newton en función del tiempo.*

Disco Alterno		Temperatura
t(s)	t (min)	°C
0	0	62.1
600	10	46.47
1200	20	38
1800	30	33.41
2400	40	30.93
3000	50	29.58
3600	60	28.86
4200	70	28.46
4800	80	28.25
5400	90	28.13
6000	100	28.07
6600	110	28.04
7200	120	28.02
7800	130	28.01
8400	140	28.006
9000	150	28.003
9600	160	28.002
10200	170	28.001

*Fuente: Autores.*



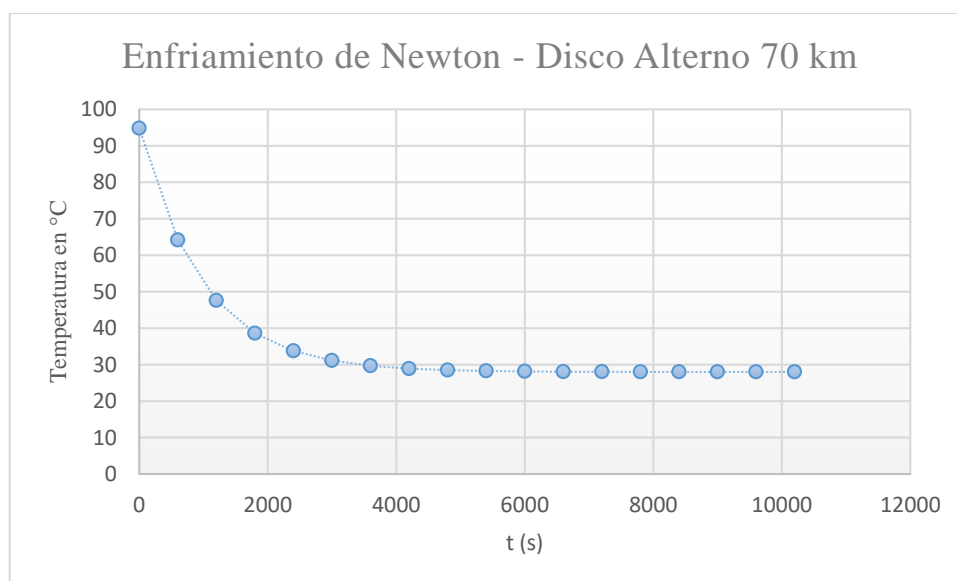
**Figura 44.** Enfriamiento de Newton - Disco alterno a 50 km *Fuente: Autores.*

**Tabla 68**

*Enfriamiento de newton a 70 km -Variación de newton en función del tiempo.*

Disco Alterno		Temperatura
t(s)	t (min)	°C
0	0	94.81
600	10	64.18
1200	20	47.59
1800	30	38.61
2400	40	33.74
3000	50	31.11
3600	60	29.68
4200	70	28.91
4800	80	28.49
5400	90	28.26
6000	100	28.14
6600	110	28.07
7200	120	28.04
7800	130	28.02
8400	140	28.01
9000	150	28.007
9600	160	28.004
10200	170	28.002

**Fuente:** Autores.



**Figura 45.** Enfriamiento de Newton - Disco alterno a 70 km **Fuente:** Autores.

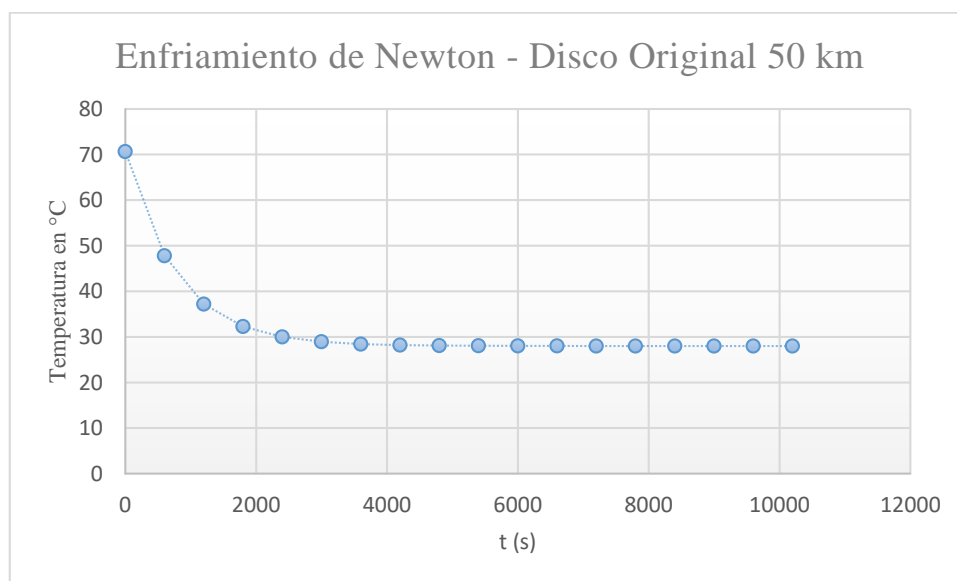


**Tabla 69**

*Enfriamiento de newton a 50 km -Variación de newton en función del tiempo.*

Disco Original		Temperatura
$t(s)$	$t (min)$	$^{\circ}C$
0	0	70.635
600	10	47.806
1200	20	37.201
1800	30	32.274
2400	40	29.986
3000	50	28.922
3600	60	28.428
4200	70	28.199
4800	80	28.092
5400	90	28.043
6000	100	28.02
6600	110	28.009
7200	120	28.004
7800	130	28.002
8400	140	28.001
9000	150	28
9600	160	28
10200	170	28

**Fuente:** Autores.



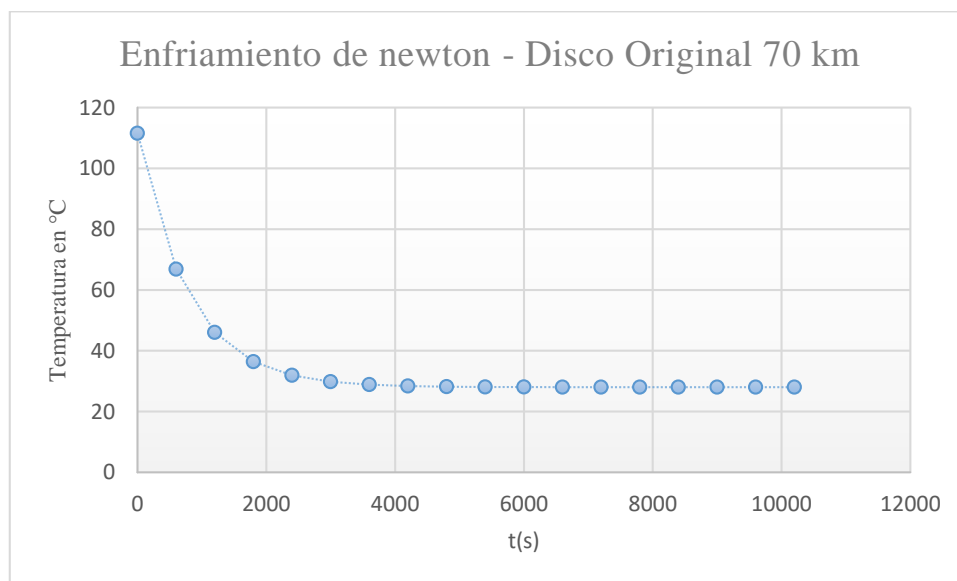
**Figura 46.** Enfriamiento de Newton - Disco alterno a 50 km. **Fuente:** Autores.

**Tabla 70**

*Enfriamiento de newton a 70 km -Variación de newton en función del tiempo*

Disco Original		Temperatura
$t(s)$	$t (min)$	$^{\circ}C$
0	0	111.513
600	10	66.796
1200	20	46.022
1800	30	36.372
2400	40	31.889
3000	50	29.807
3600	60	28.839
4200	70	28.39
4800	80	28.181
5400	90	28.084
6000	100	28.039
6600	110	28.018
7200	120	28.008
7800	130	28.004
8400	140	28.002
9000	150	28.001
9600	160	28
10200	170	28

***Fuente: Autores.***



***Figura 47.*** Enfriamiento de Newton - Disco alterno a 70 km. ***Fuente: Autores.***

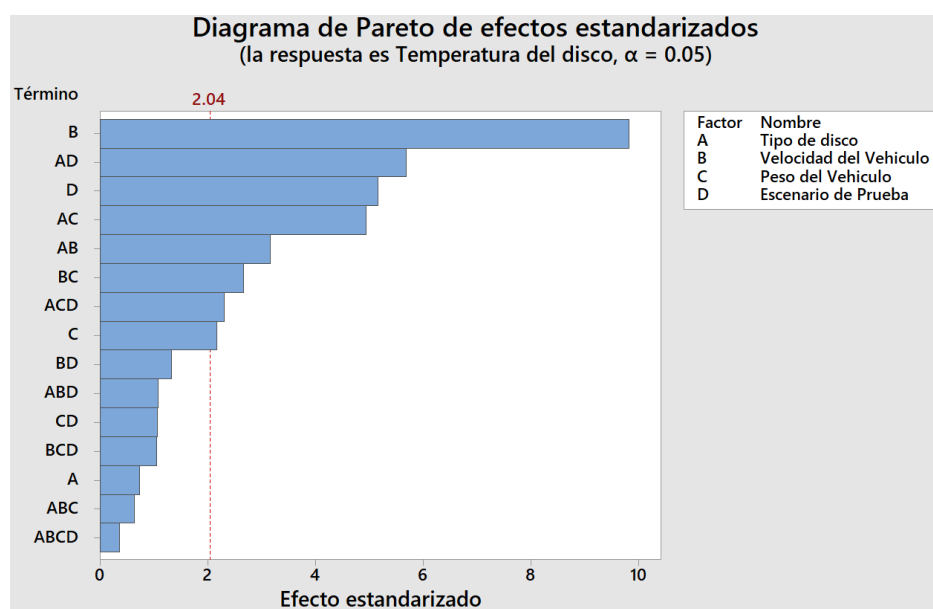
### 4.13 Análisis de resultados en el programa Minitab 17.

Una vez analizado los resultados del tiempo de frenado en cual se determina la desaceleración que presenta el vehículo al estar sometido a diferentes velocidades, pesos y distintos escenarios donde influye el coeficiente de fricción, se procede a analizar los resultados que nos arroja el software Minitab empleando graficas de probabilidad normal y diagrama de Pareto. De modo permite ver el comportamiento de las variables de entrada y cómo influyen en la salida analizando que variables son más significativas.

#### 4.13.1 Temperatura del disco

Se ingresa los valores de la temperatura final del disco en el software Minitab, y este procede a analizar el diseño factorial a través de una gráfica de probabilidad normal y un diagrama de Pareto.

En la figura 48 se muestra el diagrama de Pareto ya que este proporciona más información al momento de interpretar las variables que son significativas para la temperatura del disco. Considerando la temperatura máxima del disco sin sobrepasar los límites establecidos de 100°C. debido a que ahí se obtiene una mayor eficacia al sistema de frenos.

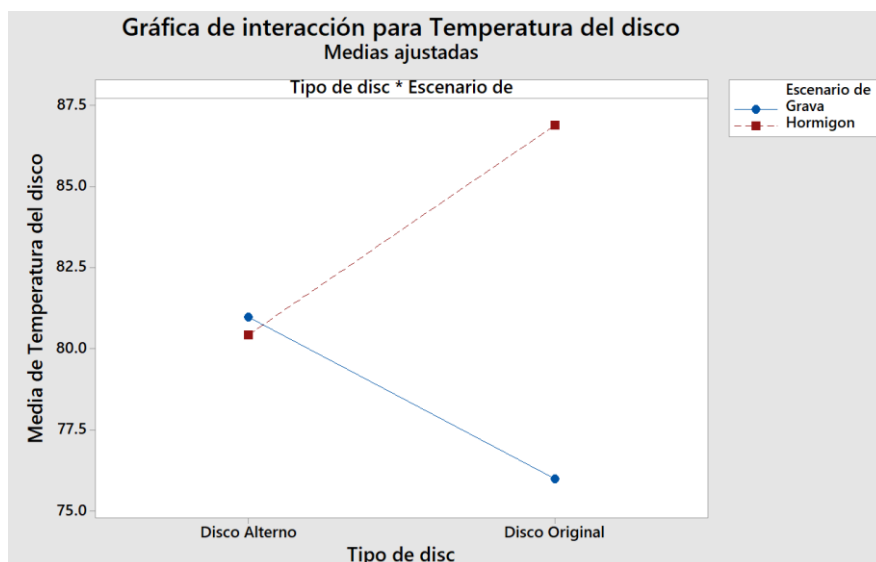


**Figura 48.** Diagrama de Pareto de la temperatura final del disco. **Fuente:** Autores

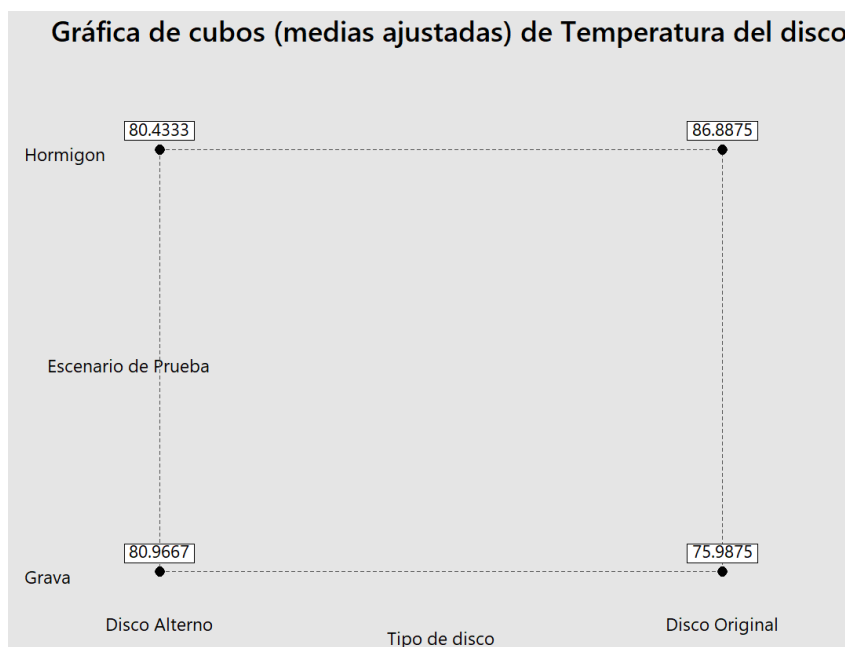
Obteniendo ocho factores que resultan ser más significativas teniendo la siguiente combinación, tres efectos principales (B, D, C) y cuatro interacciones dobles (AD, AC, AB, BC) y una

interacción triple ACD. Esto nos indica que de los factores escogidos para esta investigación tienen interacción entre alguno de ellos de manera que si influyen de forma más significativa sobre la temperatura final del disco de freno.

De manera que se procede a mostrar las gráficas de interacción de factores dobles y triples, las gráficas de cubo y además las gráficas de contorno. Las cuales se observan a continuación.



**Figura 49.** Diagrama de interacción del tipo de disco x escenario. **Fuente:** Autores



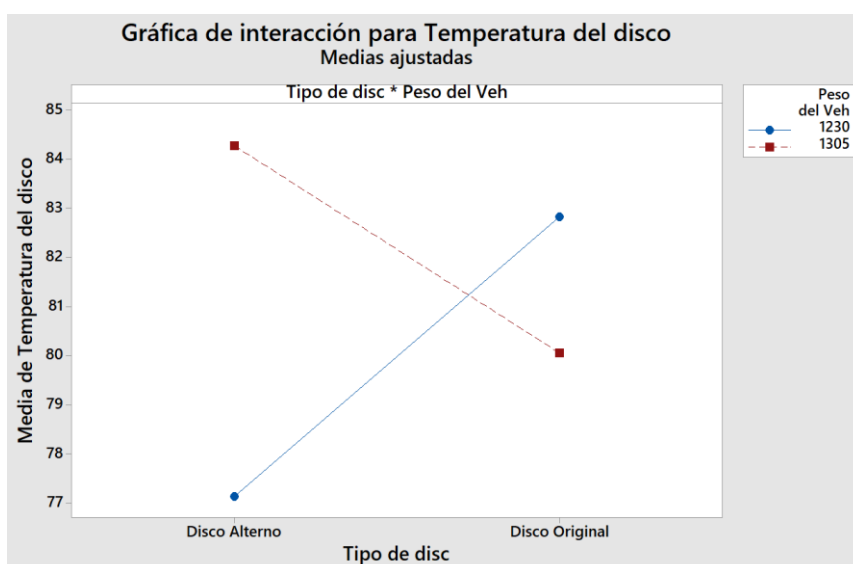
**Figura 50.** Grafica de cubos del tipo de disco x escenario de prueba. **Fuente:** Autores

**Análisis:** de la figura 49 se obtiene el diagrama de interacción de los factores AD, donde se hace una comparación de los diferentes tipos de discos en función de los distintos terrenos que

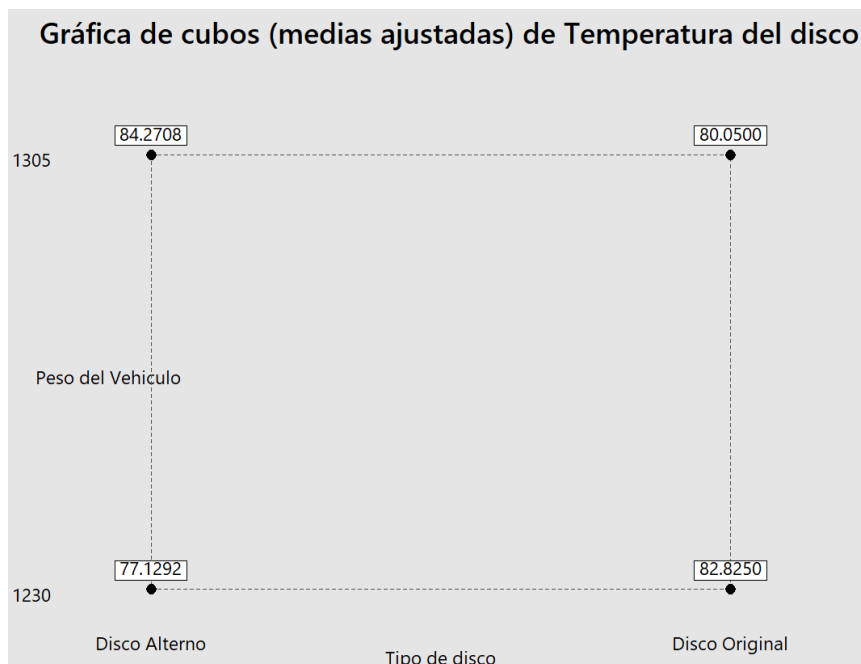
se eligieron para las pruebas, en donde se puede evidenciar en la figura 50 analizando el diagrama de cubos, donde se alcanza una menor temperatura al utilizar los disco originales en superficie de grava siendo esta temperatura media de 75.98°C. a diferencia que al usar discos alternos en la misma superficie de grava arroja una temperatura media de 80.96°C.

En superficie de hormigon al usar discos alternos da una temperatura media de 80.43°C a diferencia del valor de la temperatura media de 86.88°C al utilizar discos originales en la misma superficie de prueba. Tomando en cuenta que las diferentes temperaturas no sobrepasan los valores de temperatura maximos establecidos.

En donde se obtendra una mayor eficacia al sistema de frenos al momento de emplear discos originales con pastillas alternas y probarlos en la superficie de hormigon.



**Figura 51.** Diagrama de interacción del tipo de disco x peso del vehículo. **Fuente:** Autores

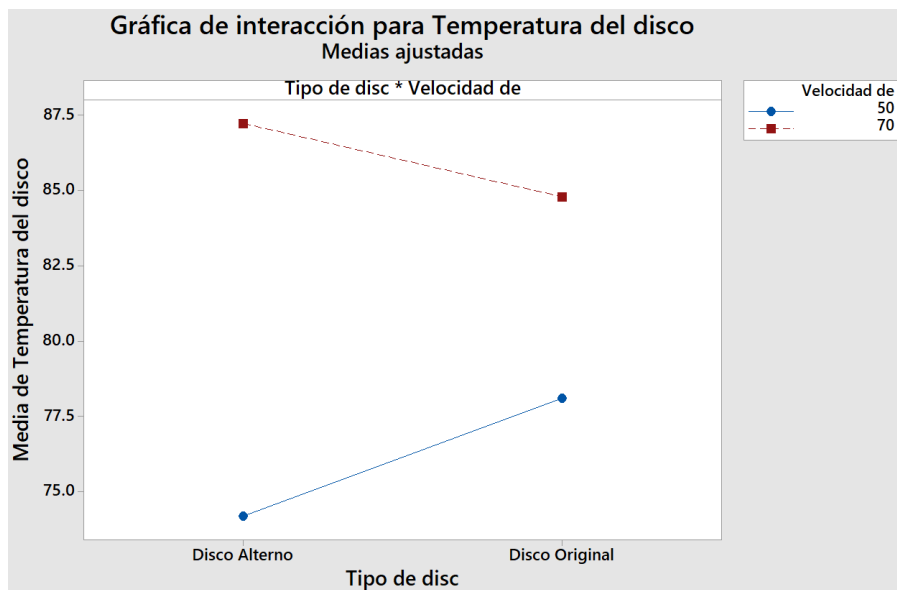


**Figura 52.** Grafica de cubos del tipo de disco x peso del vehículo. **Fuente:** Autores

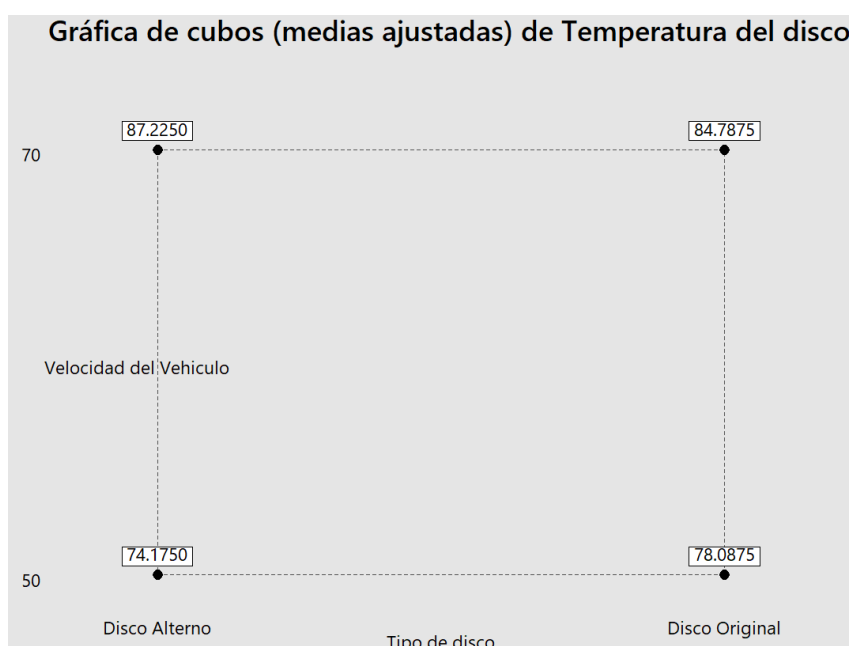
**Análisis:** en la figura 51 se muestra el diagrama de interacción de los factores AC, en donde compara las variables del tipo de disco en función del peso del vehículo y cómo afectan a la temperatura final del disco, de manera que se acude a la figura 52, para ver en que condición se obtiene la temperatura más eficaz para el disco de freno, de manera que al usar disco alternos con un peso de 1230 kg se tiene una temperatura media de 77.12°C en comparación a los 82.82 °C que se obtiene al usar discos originales con el mismo peso.

Al aumentar el valor de peso en el vehículo a 1305 kg se obtiene un menor valor de temperatura media de 80.05 °C usando discos originales en comparación que al usar discos alternos con la misma carga del vehículo llegando a una temperatura media de 84.27°C.

Obteniendo así una temperatura mayor donde se alcanza mayor eficacia usando discos alternos con una carga de 1305 kg como se observa en la figura 52.



**Figura 53.** Diagrama de interacción del tipo de disco x velocidad del vehículo. **Fuente:** Autores



**Figura 54.** Grafica de cubos del tipo de disco x velocidad del vehículo. **Fuente:** Autores

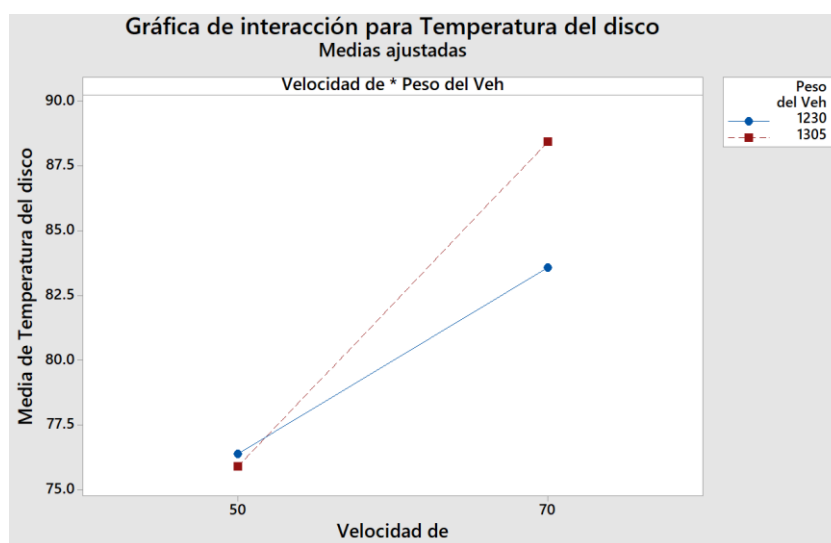
**Análisis:** en la figura 53. Se observa que en las rectas no hay interacción entre ellas entonces se determina de la siguiente forma, a una velocidad de 50km/h existe un aumento de temperatura al usar discos originales, y a 70km/h la temperatura media aumenta al emplear discos alternos.

De manera que en la figura 54 se observa el grafico de cubo del tipo de disco en relación a la velocidad que desarrolla el vehículo durante las pruebas, por lo que se puede determinar que existe una temperatura media al utilizar discos alternos al recorrer a una velocidad de 50 km/h

estando en 74.17 °C a diferencia de los discos originales que tiene una temperatura media de 78.08°C a la misma velocidad.

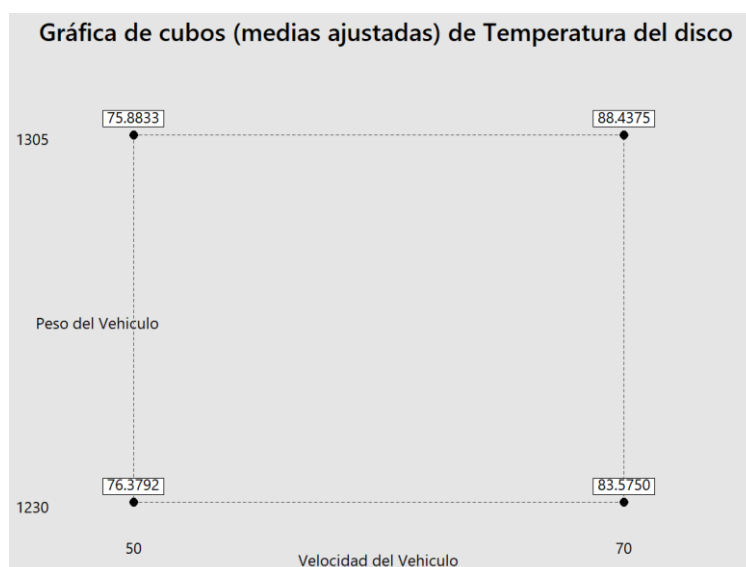
Pero cuando se hace un aumento de la velocidad siendo esta 70km/h los discos alternos alcanzan una temperatura media de 87.22 °C y en los discos originales llega a 84.78°C.

De forma que se presenta una mayor eficacia al sistema de frenos cuando se recorre una velocidad de 70km/h empleando discos alternos.



**Figura 55.** Diagrama de interacción de la velocidad del vehículo x Peso del vehículo.

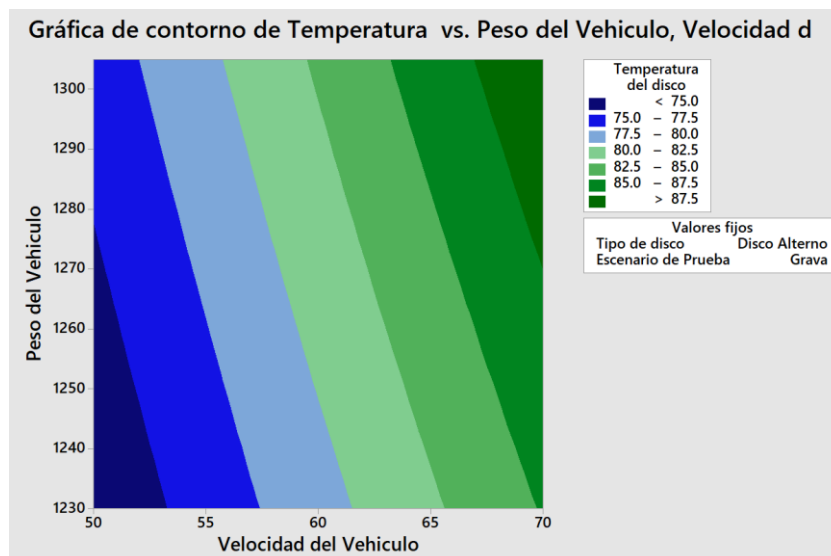
**Fuente:** Autores



**Figura 56.** Grafica de cubos de la velocidad del vehículo x Peso del vehículo. **Fuente:**

Autores





**Figura 57.** Grafica de contorno de la velocidad del vehículo x Peso del vehículo en función de la temperatura. **Fuente:** Autores

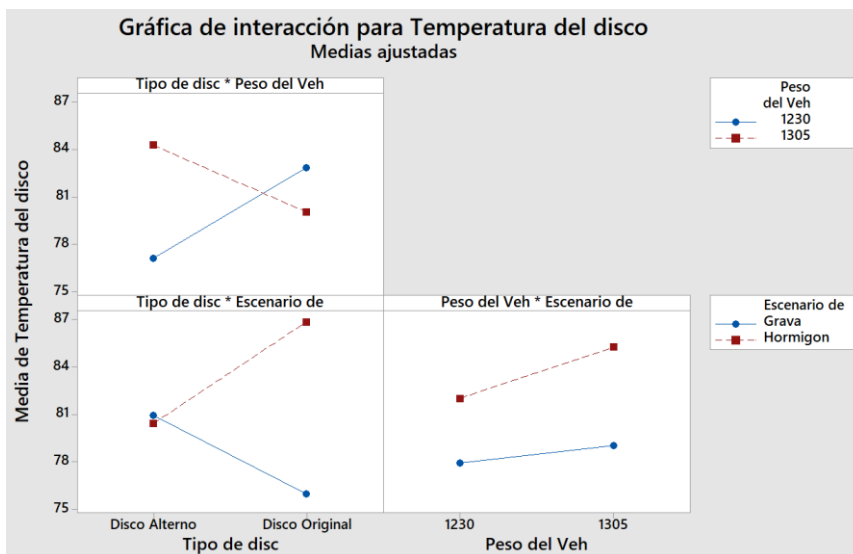
**Análisis:** en la figura 55 se muestra el diagrama de interacción que existe en el peso del vehículo en relación de las dos velocidades de pruebas y cómo influyen en el aumento de la temperatura final del disco de freno.

Como se observa en la figura 56 la gráfica de cubo donde al aumentar la velocidad del vehículo siendo está a 70 km/h con un peso 1230 kg se obtiene una temperatura media de 83.87°C que al recorrer a una velocidad de 50 km/h con el mismo peso se tiene una temperatura media de 76.37°C.

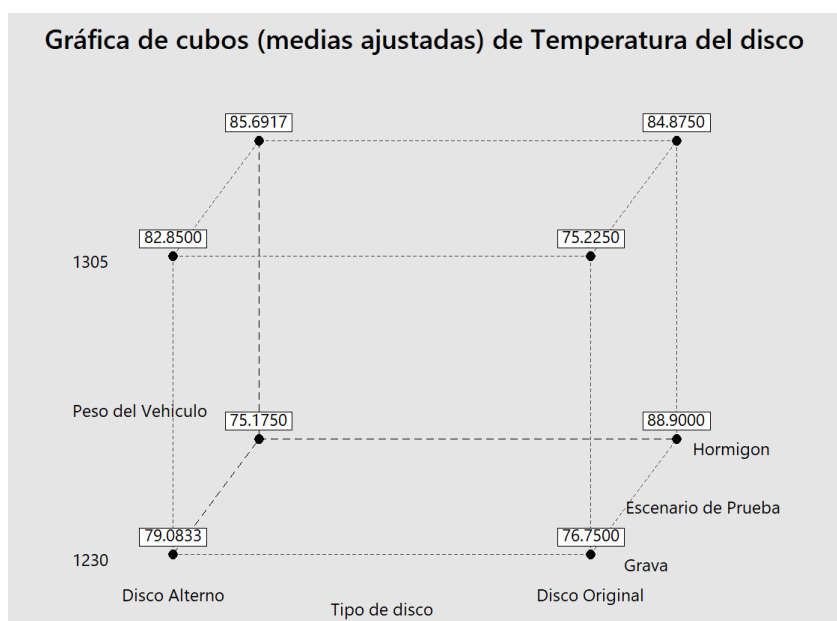
Y al momento de aumentar el peso en el vehiculo a 1305 kg se obtiene que a una velocidad de 50 km/h la temperatura media es de 75.88°C y al aumentar la velocidad a 70km/h con el mismo peso se obtiene una temperatura media de 88.43 °C.

Siendo la condicion mas favorable al emplear una velocidad de 70 km/h cuando se tiene un peso en el vehiculo de 1305 kg llegando a ser la temperatura media de 88.43 °C.

De manera que como podemos observar en la figura 57. La grafica de contorno nos muestra los distintos valores de temperatura final a medida que varia la velocidad del vehiculo en funcion del peso que se emplea. El color azul mas oscuro es donde el disco tiene temperaturas relativamente bajas en su funcionamiento a medida que aumenta la velocidad sigue aumentando la temperatura hasta llegar al color verde oscuro.



**Figura 58.** Diagrama de interacción del factor ACD. **Fuente:** Autores



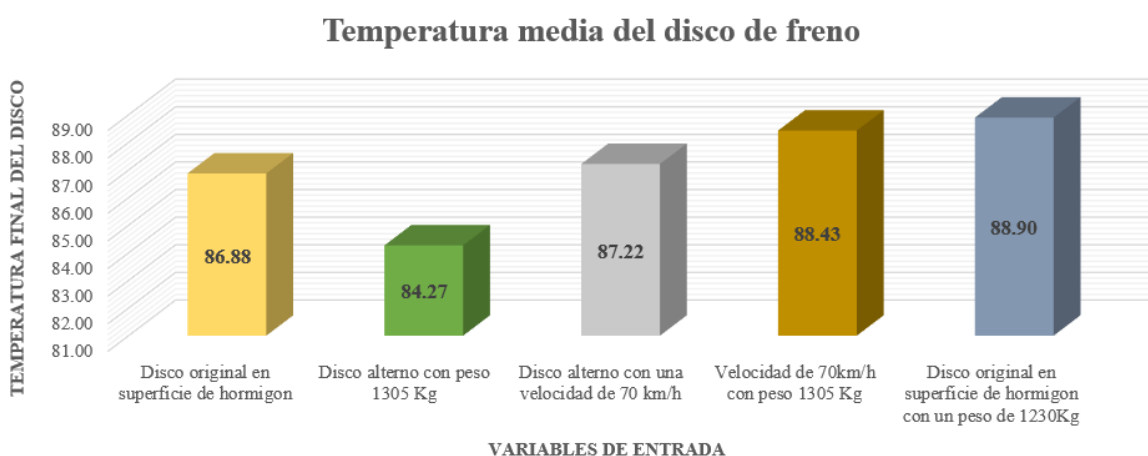
**Figura 59.** Diagrama de Cubos del factor ACD. **Fuente:** Autores

**Análisis:** al interactuar el factor triple ACD se obtiene una gráfica de cubos en 3D de manera que para interpretar se tiene que analizar los tres factores que lo conforman de manera que se busca obtener la mejor condición para el sistema de disco de freno, en donde al emplear discos originales con un peso de 1230 kg en una superficie de prueba de hormigón se obtiene una temperatura media de 88.90°C a diferencia de emplear disco alternativo bajo las mismas condiciones de peso y escenario de prueba se tiene una temperatura de 75.17°C. a medida que

se aumenta el peso a 1305kg la temperatura media tiende a ser mayor empleados en la superficie de hormigon con los diferentes tipos de discos siendo estos 85.67 °C y 84.87°C respectivamente.

Además, teniendo un comportamiento distinto al emplear menos peso de 1230 kg al vehículo e implementar los diferentes tipos de discos en una superficie de grava siendo las temperaturas medias de 79.08°C y 76.75°C respectivamente. Este comportamiento lo atribuimos a las condiciones ambientales con las que se tomó las pruebas siendo la velocidad del viento una de ellas.

Analizado el comportamiento de la temperatura final del disco según las condiciones de cada uno de los factores que resultaron ser mas significativos, se procedió a agrupar los valores en donde se haya alcanzado la maxima temperatura media en el disco, donde se pueda encontrar la mejor condicion y la mayor eficacia para el sistema de freno.



**Figura 60.** Temperaturas medias de los discos de freno. **Fuente:** Autores

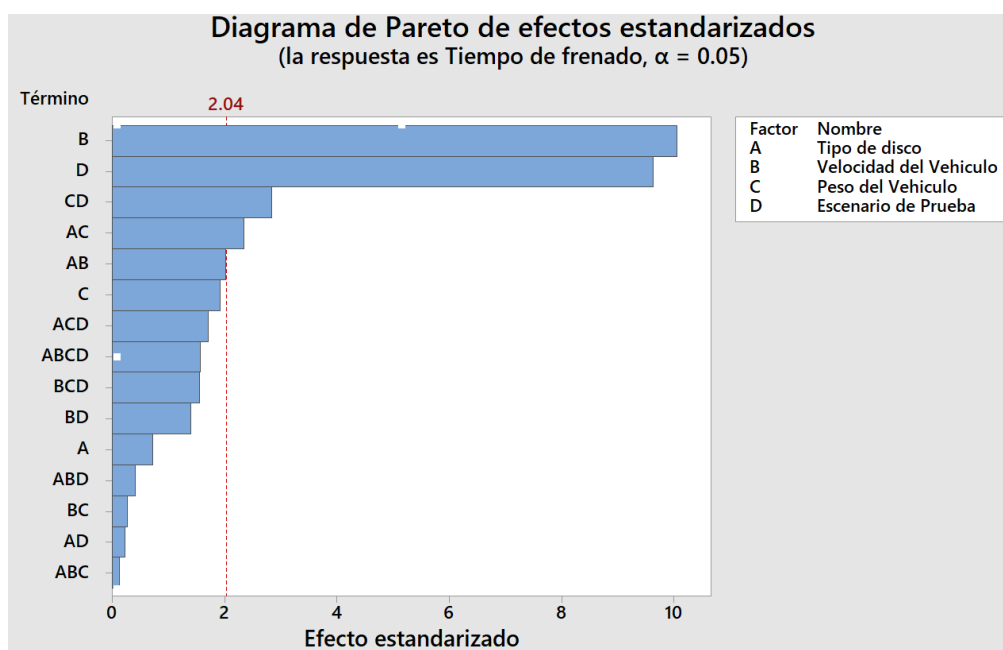
De manera que en figura 60 se muestra cada temperatura máximo obtenida de las interacciones entre dos o más factores, tener en cuenta que estos valores se encuentran dentro de los rangos establecidos como máximos de manera que no existirá recalentamiento del disco de freno, se considera la mejor condición para el sistema de frenos obteniendo la temperatura media de 88.90°C en donde se tiene una eficacia media de 90.69% al utilizar discos originales en una superficie de hormigon empleando un peso de 1230 kg. Seguido de una temperatura media de 88.43 °C que se obtiene al momento de llegar a una velocidad de 70km/h con un peso de 1305 kg.

Se aprecia también que los discos orginales en ciertas condiciones en las que fue puesto a prueba tiende a elevar más la temperatura en comparación a los discos alternos esto se puede corroborar visualizando las tablas del enfriamiento de Newton.

#### 4.13.2 Tiempo de frenado

Ahora se procede a analizar la otra variable de salida dado que de los valores obtenidos en las pruebas de ruta se considera el tiempo de frenado de manera que haciendo uso del software Minitab, podemos analizar el diseño factorial a través de un diagrama de Pareto.

En la figura 61 se muestra el diagrama de Pareto donde se observa las variables que son significativas para el tiempo de frenado, analizando cada comportamiento de las variables donde se obtenga el tiempo más reducido al momento de frenar.



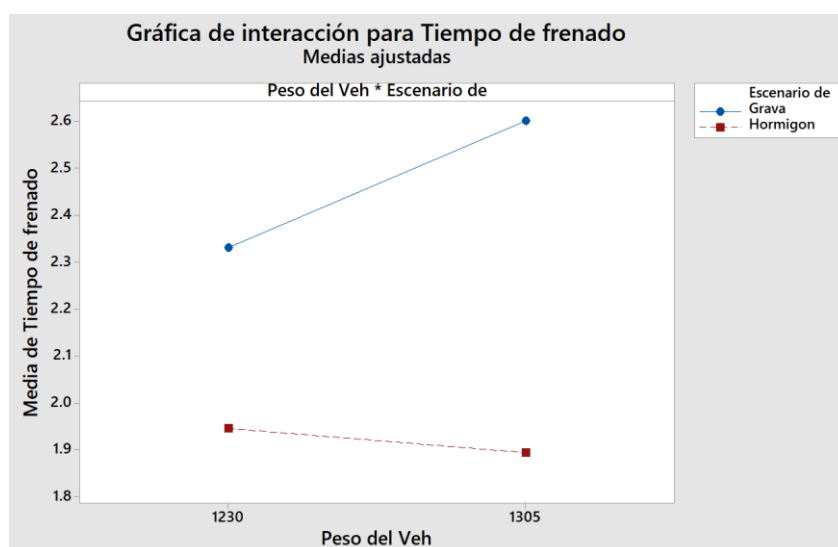
**Figura 61.** Diagrama de Pareto del tiempo de frenado. *Fuente:* Autores

Consiguiendo así cuatro factores que son los más significativos conformados de la siguiente manera; dos efectos principales (B, D) y dos interacciones dobles (CD, AC). Esto nos indica que de los factores escogidos para esta investigación tienen interacción entre ellos de manera que si influyen de forma más significativa sobre el tiempo de frenado.

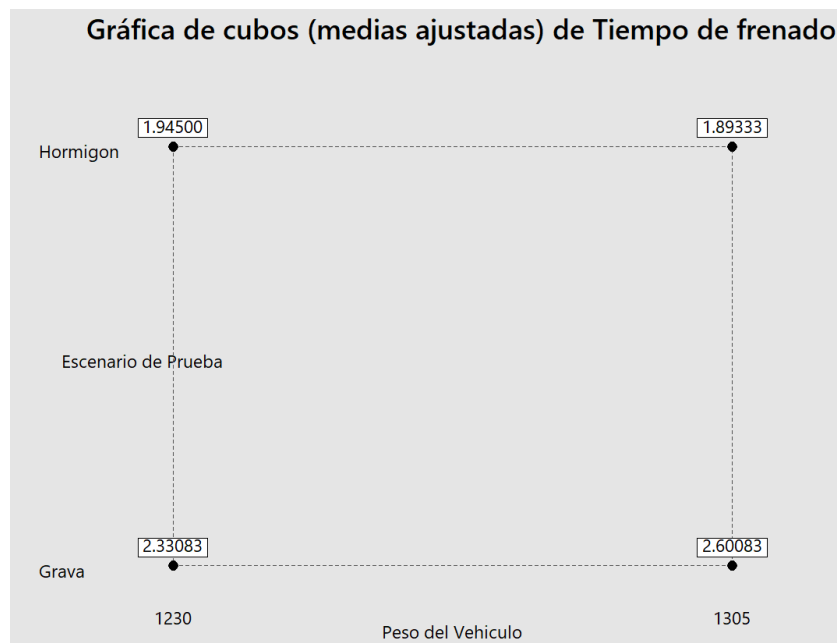
De manera que se explicaran con graficas de interacción y de cubos aquellos factores con interacciones dobles, pero sin dejar de lado se analiza cómo influyen los dos factores de efectos

principales B, D. viéndolo de esta manera, a medida que el vehículo aumenta su velocidad este empleara más tiempo para detenerse por completo ejerciendo siempre la misma presión en el pedal del freno, además podemos observar en la figura 61 la variable no tiene interacciones dobles que afecten de manera significativa en el tiempo de frenado.

Entonces a continuación se muestran las gráficas de interacción y de cubos de las variables que influyen de manera significativa sobre los resultados.



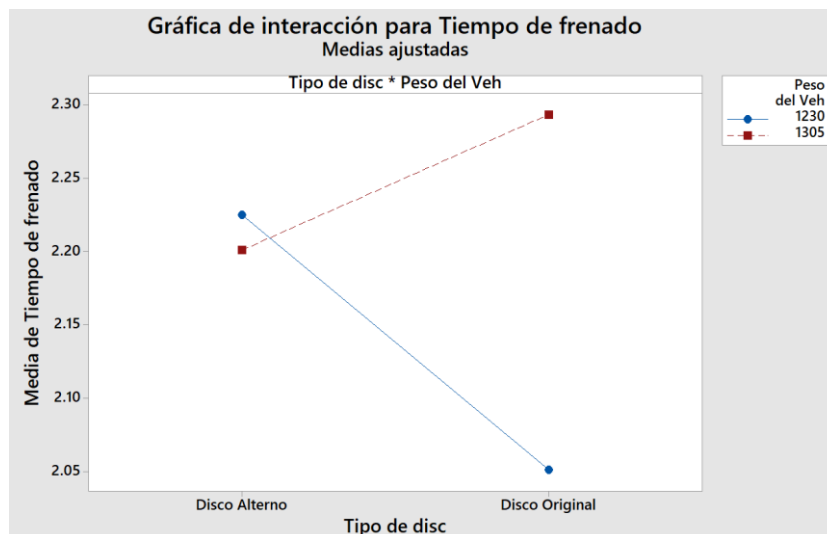
**Figura 62.**Diagrama de interacción del Peso del vehículo x Escenario de prueba. **Fuente:** Autores



**Figura 63.** Diagrama de efectos principales del Peso del vehículo x Escenario de prueba.  
**Fuente:** Autores

**Análisis:** en la figura 62 se muestra las variables del peso del vehículo en relación al escenario de pruebas donde no hay intersección aquellas variables, de manera que se acude al diagrama de cubos de la figura 63 donde podemos observar que al aumentar el peso a 1305 kg en el vehículo en una superficie de grava este tiende a aumentar el tiempo que se emplea para frenar a 2.60s donde se ve reducido el tiempo de frenado al disminuir la carga del vehículo a 1230 kg llegando a ser de 2.33 s este aumento del tiempo es debido al coeficiente de rozamiento del neumático con respecto a la calzada.

Donde tenemos un menor tiempo para detener completamente el vehículo es cuando se lo emplea en una superficie de hormigón de manera que a 1230 kg se tiene un tiempo de 1.94 s y cuando se aumenta el peso a 1305kg el tiempo disminuye a 1.89s esto en parte se debe al elevado coeficiente de rozamiento que tiene el hormigón, pero al momento de aumentar el peso se transfiere una mayor carga sobre el eje delantero al momento de frenar por lo que se empleara más fuerza de presión sobre el pedal del freno.



**Figura 64.** Diagrama de interacción del Tipo de disco x Peso del vehículo. **Fuente:** Autores



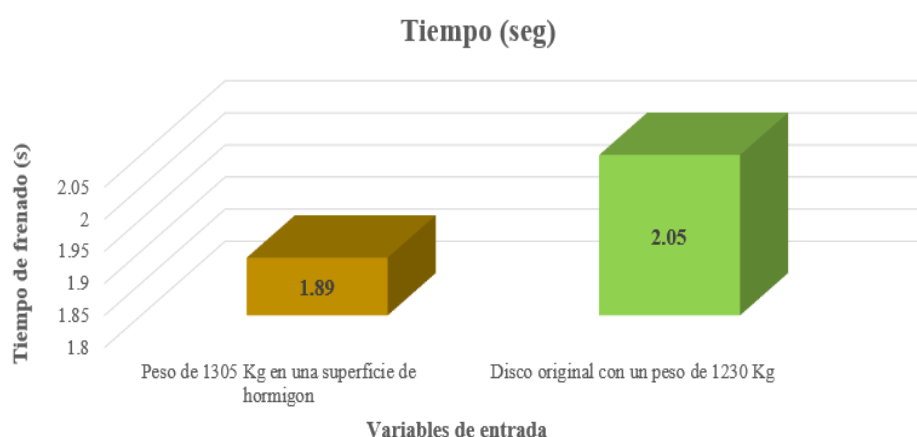
**Figura 65.** Diagrama de cubos del Tipo de disco x Peso del vehículo. **Fuente:** Autores

**Análisis:** en la figura 64 se tiene una gráfico de interacción entre la variable del tipo de discos en relación al peso del vehículo lo que influyen de manera significativa sobre el tiempo empleado para detener el automóvil. de manera que en la gráfica de cubos de la figura 65, podemos observar que al emplear discos originales con un peso de 1230kg se tiene un tiempo de frenado de 2.05s a diferencia de los discos alternos con el mismo peso emplean más tiempo para detener el vehículo siendo de 2.22 s.

Cuando se emplean más carga al vehículo de 1305 kg tiende a aumentar cuando se emplean discos originales siendo el tiempo de 2.29s y cuando se utilizan disco alterno baja a 2.20 s.

De manera analizando estas variables con interacción doble AC, se llega a obtener un menor tiempo al momento de detener el vehículo cuando se emplean discos originales cuando se tiene un peso de 1230kg.

Finalizadas las pruebas de ruta y una vez analizadas las diferentes graficas de interacion y de cubos en donde se considera apropiado tomar el valor de la menor tiempo de frenado. Con los datos obtenidos al utilizar un cronometro donde se tome el tiempo desde que el conductor acciona el pedal de freno hasta que el vehiculo se detiene por completo teniendo asi los siguientes escenarios.



**Figura 66.** Tiempo medio de frenado. *Fuente:* Autores

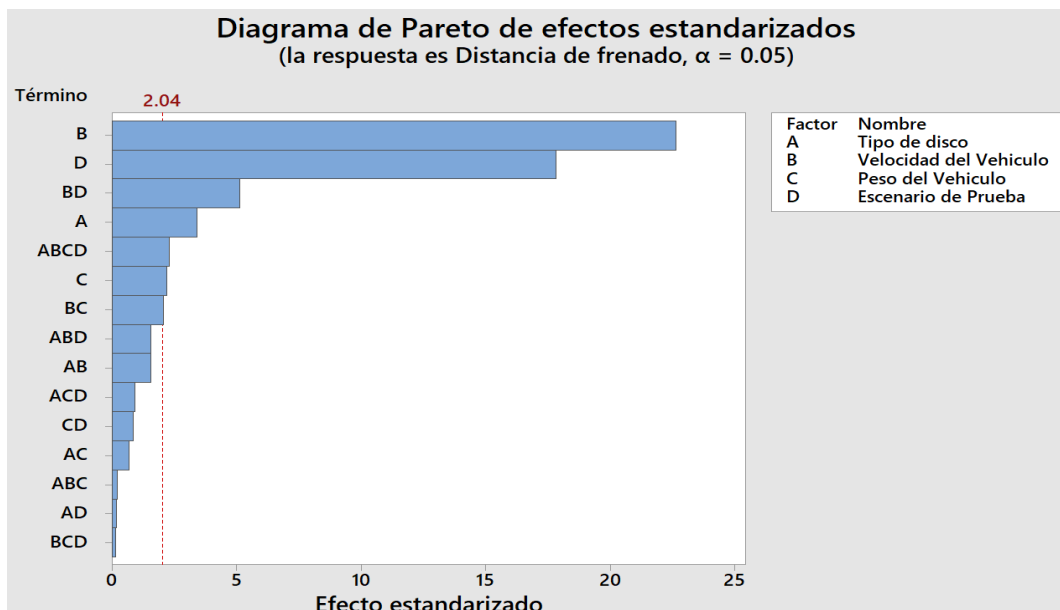
En la figura 66 se observa el tiempo medio de frenado bajo dos condiciones en donde se consideró que el vehículo Aveo Emotion, no se empleara más tiempo para poder detener la unidad. De manera que empleando un peso de 1305 kg al ser probado en una superficie de hormigón para que el vehículo se detenga fue de 1.89 s y el emplear discos originales teniendo un peso de 1230 kg fue de 2.05 s.

#### 4.13.3 Distancia de frenado

De la misma forma se analiza la última variable de salida haciendo uso de los valores obtenidos de las pruebas de campo y enviándolo al software Minitab, donde podemos analizar el diseño factorial con la ayuda del diagrama de Pareto.

En la figura 67 se muestra el diagrama de Pareto donde se observa las variables que son significativas para la obtener la menor distancia de frenado, observando el comportamiento de las variables con interacciones dobles y triples.

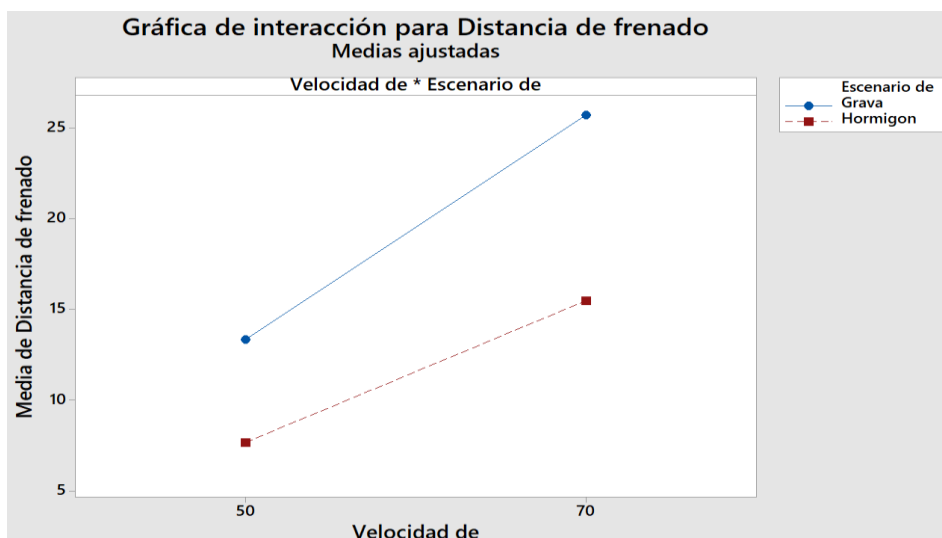




**Figura 67.** Diagrama de Pareto de la Distancia de frenado. *Fuente:* Autores

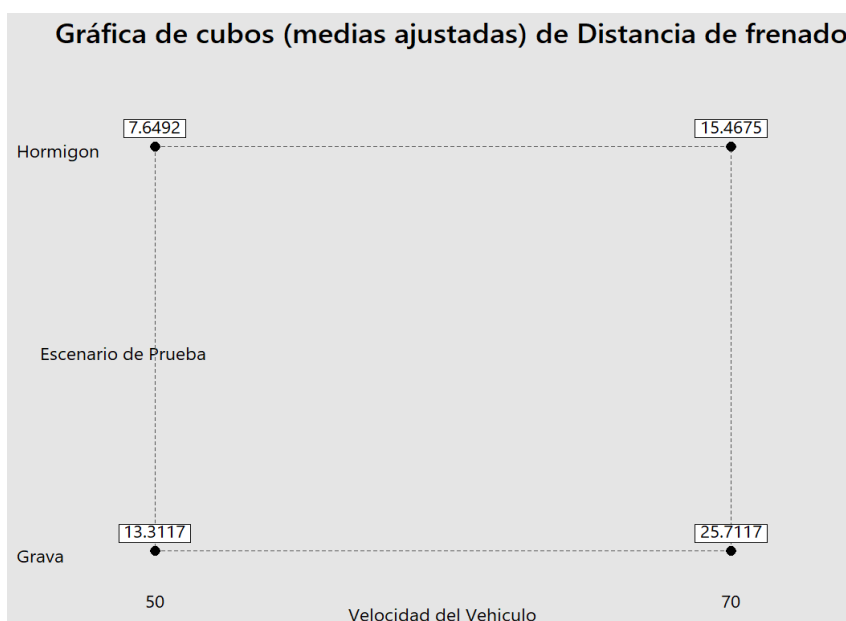
Obteniendo siete factores que son los más significativas que interviene de manera directa sobre la distancia de frenado los cuales están conformados de la siguiente manera; cuatro efectos principales (B, D, A, C) y dos interacciones dobles (BD, BC) y por último una interacción cuádruple ABCD.

Se mostrarán las interacciones dobles y cuádruple para determinar cómo afectan las variables en las distancias de frenado teniendo como límites máximos los valores calculados en la tabla 11, donde se emplea en función de las dos velocidades utilizadas para esta investigación.



**Figura 68.** Diagrama de interacción de la velocidad del vehículo x Escenario de prueba.

**Fuente:** Autores



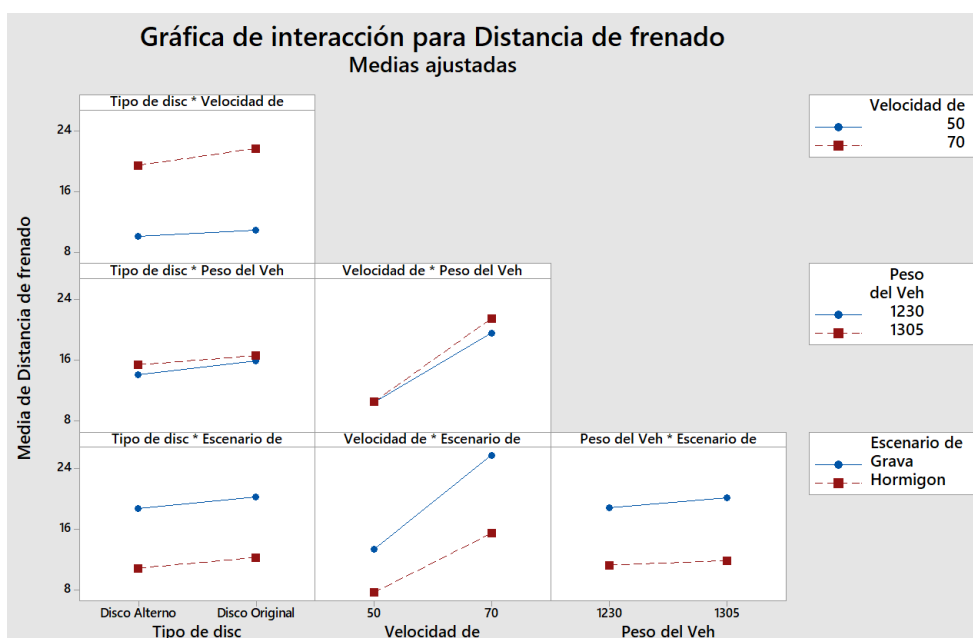
**Figura 69.** Diagrama de cubos de la velocidad del vehículo x Escenario de prueba. **Fuente:**

Autores

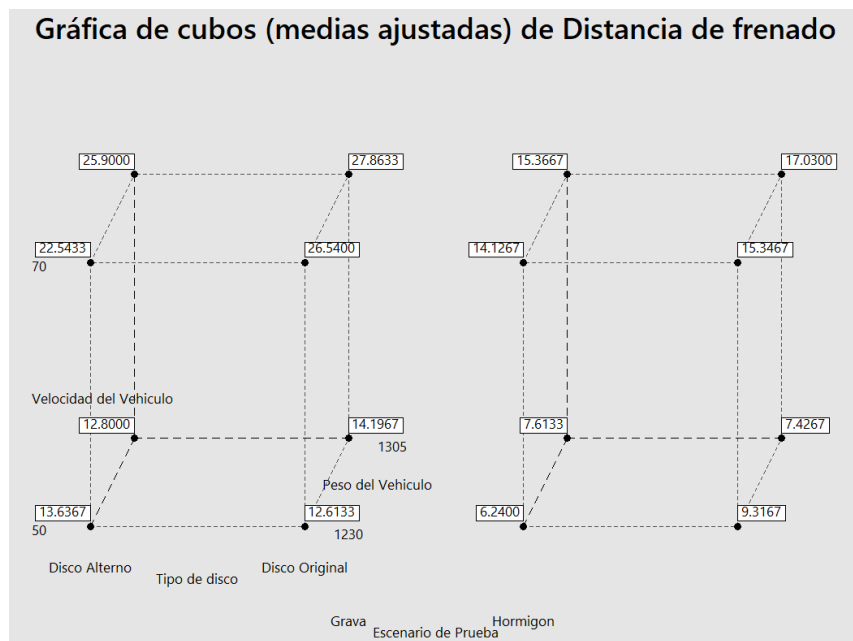
**Análisis:** en la figura 68. Se observa dos rectas que pertenecen al tipo de escenario que no hay interacción entre ellas, entonces se la interpreta de la siguiente manera, a una velocidad de 50km/h es donde se tiene una menor distancia de frenado para ambos escenarios, y a medida que la velocidad aumenta a 70km/h la distancia en el frenado aumenta de igual manera siendo en grava donde se presenta una mayor distancia de recorrido.

En la figura 69 es donde se puede evidenciar los valores de las distancias de frenado, visto de la siguiente manera a una velocidad de 50 km/h en grava se obtiene una distancia de 13.31 m a diferencia que al emplearse una velocidad de 70 km/h en donde la distancia es aún mayor de 25.71m. además de entender que a mayor velocidad más distancia recorre el automóvil en detenerse por completo aquí interfiere el tipo de calzada y el coeficiente de rodadura muy bajo que este posee de manera que en este tipo de calzada se puede llegar a tener deslizamiento del neumático sobre la calzada al emplear frenadas bruscas.

A diferencia de emplear las mismas velocidades, pero ahora en una superficie de hormigón en donde al recorrer a una velocidad de 50km/h se obtiene una distancia de 7.64m y al aumentar la velocidad a 70km/h esta distancia llega a aumentar a 15.46m.



**Figura 70.** Diagrama de interacción del factor ABCD. *Fuente:* Autores



**Figura 71.** Diagrama de cubos del factor ABCD. **Fuente:** Autores

**Análisis:** en la figura 70 se tiene la interacción del factor ABCD en donde se puede evidenciar que las gráficas tipo de disco en función del peso del vehículo y la gráfica de la velocidad del vehículo en función del peso del vehículo es donde tienen interacción las variables en donde para obtener la mejor condición en donde se emplee la menor distancia al momento de frenar se procede a visualizar en la figura 71. En donde se obtiene una gráfica de cubos doble en 3D. analizándolo de la siguiente manera en una superficie de hormigón al emplear discos alternos a una velocidad de 50km/h y con un peso de 1230 kg se obtiene una menor distancia media de recorrido de 6.24m y la condición donde se tiene la mayor distancia es al emplearse en grava usando discos originales con un peso de 1305 kg a una velocidad de 70km/h siendo de 27.86m, estando dentro de los rangos de distancia máximos establecidos.

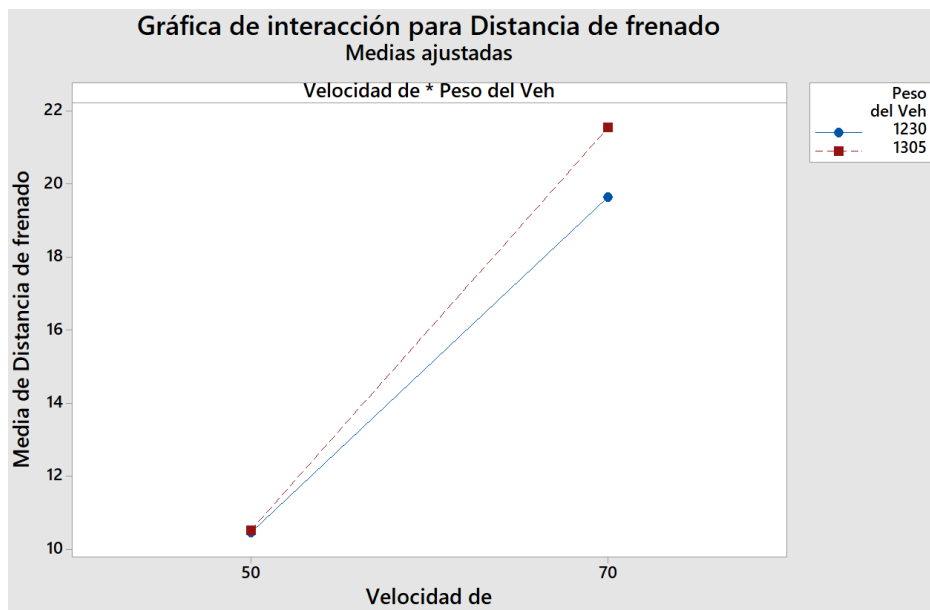


Figura 72. Diagrama de interacción de la velocidad del vehículo x peso del vehículo.

Fuente: Autores

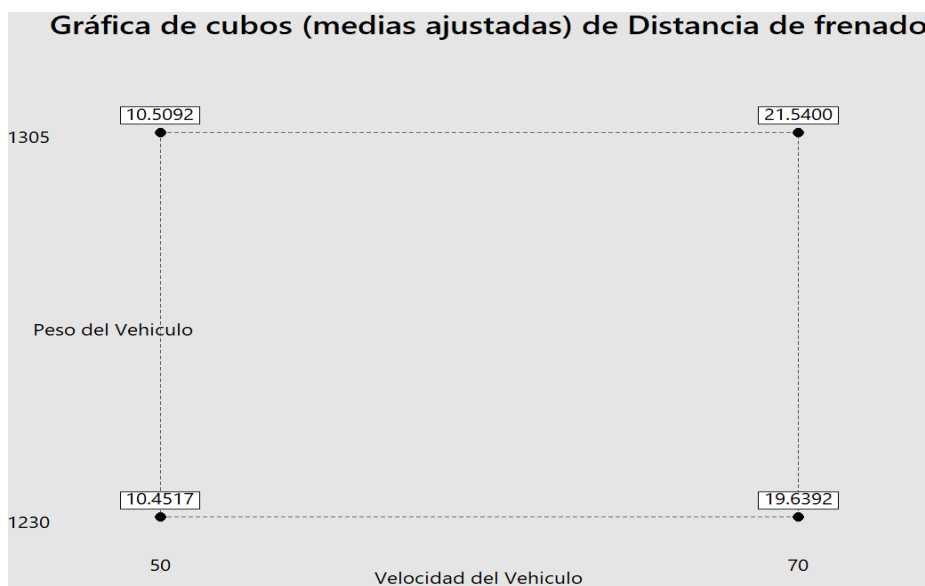
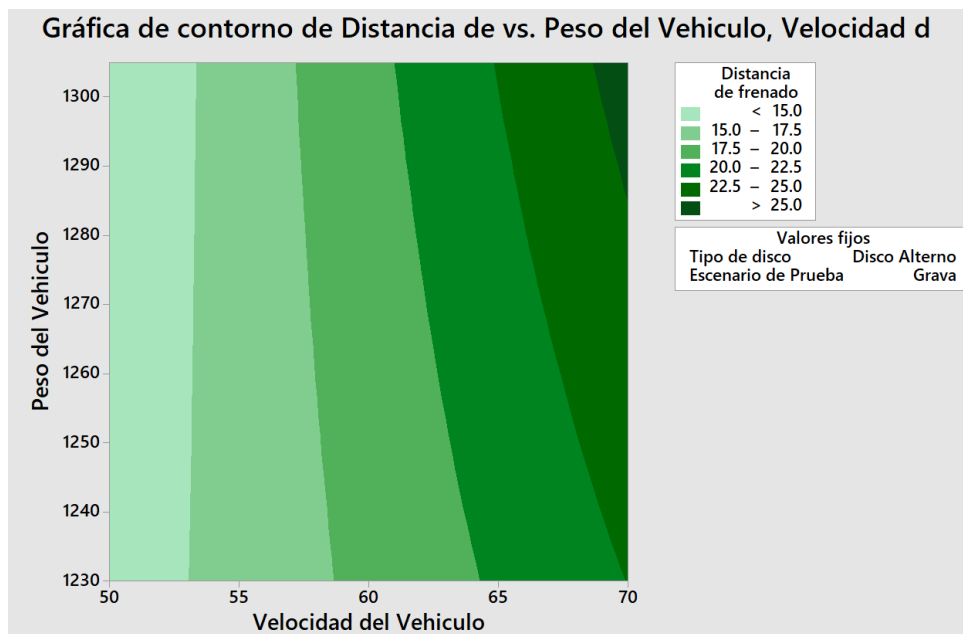


Figura 73. Diagrama de cubos de la velocidad del vehículo x peso del vehículo. Fuente:

Autores



**Figura 74.** Grafica de contorno de la velocidad del vehículo x peso del vehículo. **Fuente:**  
Autores

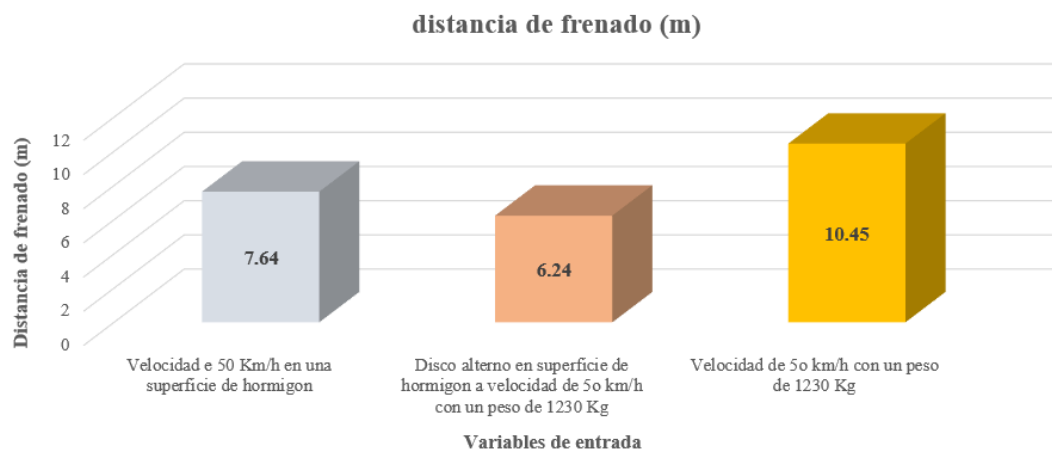
**Análisis:** en la figura 72 muestra la gráfica de interacción en la velocidad con respecto al peso del vehículo donde se puede apreciar que a la velocidad de 50 km/h para ambos pesos se logra una distancia de frenado muy similar pero a medida que se alcanza la velocidad de 70km/h las distancias son distintas, de manera que se utiliza la figura 73 para la interpretación de los valores donde se observa que al emplear una velocidad de 50 km/h con un peso de 1230 kg se tiene una distancia de 10.45 m a diferencia de la velocidad de 70 km/h donde aumenta la distancia de frenado siendo esta 19.63 m.

Pero a medida que se aumenta el peso a 1305 kg al ir a una velocidad de 50 km/h de igual manera se tiene logro hacer una distancia de 10.50 m a diferencia de la velocidad de 70 km/h aumenta la distancia a 21.54 m.

En la figura 74 podemos ver el comportamiento de la distancia de frenado que va en función al aumento de la velocidad que alcanza el vehículo, a 50 km/h vemos que a pesar de que se aumente el peso en el vehículo igual se conseguirá valores bajos de la distancia de frenado, pero a medida que aumenta la velocidad a 70km/h aumenta la distancia en relación a la carga del vehículo nótese el color verde oscuro.

Finalizadas las pruebas de ruta se realiza el analisis de las diferentes graficas de interacion y de cubos en donde se considera apropiado tomar el valor de la menor distancia de frenado, siendo

esta la mas efectiva al momento de querer deterner el automovil y asi cumplir con los requerimientos del conductor, hay que tener en consideracion que ninguno de los resultados a sobrepasado los limites de la distancia maxima establecidos en la tabla 11.



**Figura 75.** Distancia media de freno. *Fuente:* Autores

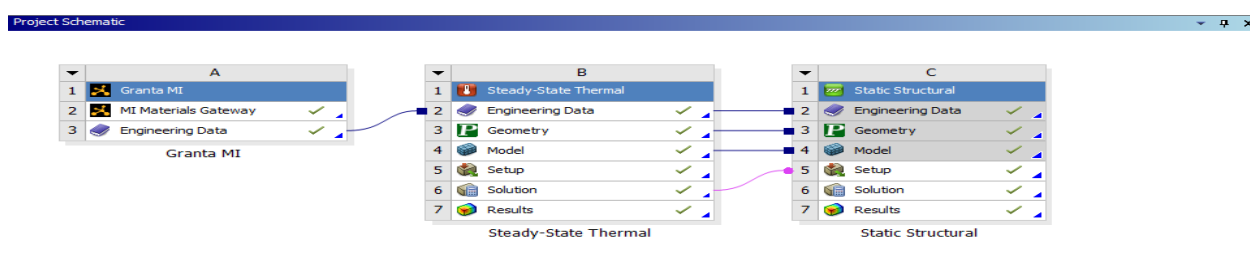
En la figura 75 se muestra las distancias medias de frenado, mediante el análisis estadístico del software Minitab ya que permite elegir la mejor condición en donde se obtenga la menor distancia de frenado. Siendo así esta, que al emplear discos alternos en una superficie de hormigón a una velocidad de 50 km/h y teniendo un peso de 1230 kg se obtiene 6.24 m de distancia media, seguida al emplear una velocidad de 50km/h en una superficie de hormigón se tiene una distancia de 7.64 m y por último al recorrer una velocidad de 50km/h empleando un peso de 1230 kg notamos que la distancia de frenado aumenta considerablemente llegando a 10.45 m si bien está dentro del rango permisible, bajo estas condiciones al probarse en terrenos como grava o tierra el neumática tienda a deslizarse sobre la calzada por su coeficiente de rozamiento.

## CAPITULO IV

### 5 ANÁLISIS DE ELEMETOS FINITOS

#### 5.1 Procesamiento.

El análisis del disco de freno en el software ANSYS se procedió con la elección de dos módulos como: *Steady-State termal and Static – Structural*, una vez señalado estos dos modulo se desplegará las condiciones que se requiere para que puedan ser cargados, entre ellos deberán estar vinculados con la biblioteca de materiales que ofrece Granta MI y el archivo del diseño del disco de freno se encuentre en formato parasolid txt.



**Figura 76** Análisis térmico y estructural mediante el uso software CAE. *Fuente* Autores.

#### 5.2 Mallado.

Para obtener un buen mallado tanto para el disco y la pastilla de freno, se procedió a comparar entre los diferentes tipos de malla que existen con el fin de obtener resultados confiables (Anexo D), entre los cuales se encuentran: la calidad del mallado, el porcentaje y el error estructural.

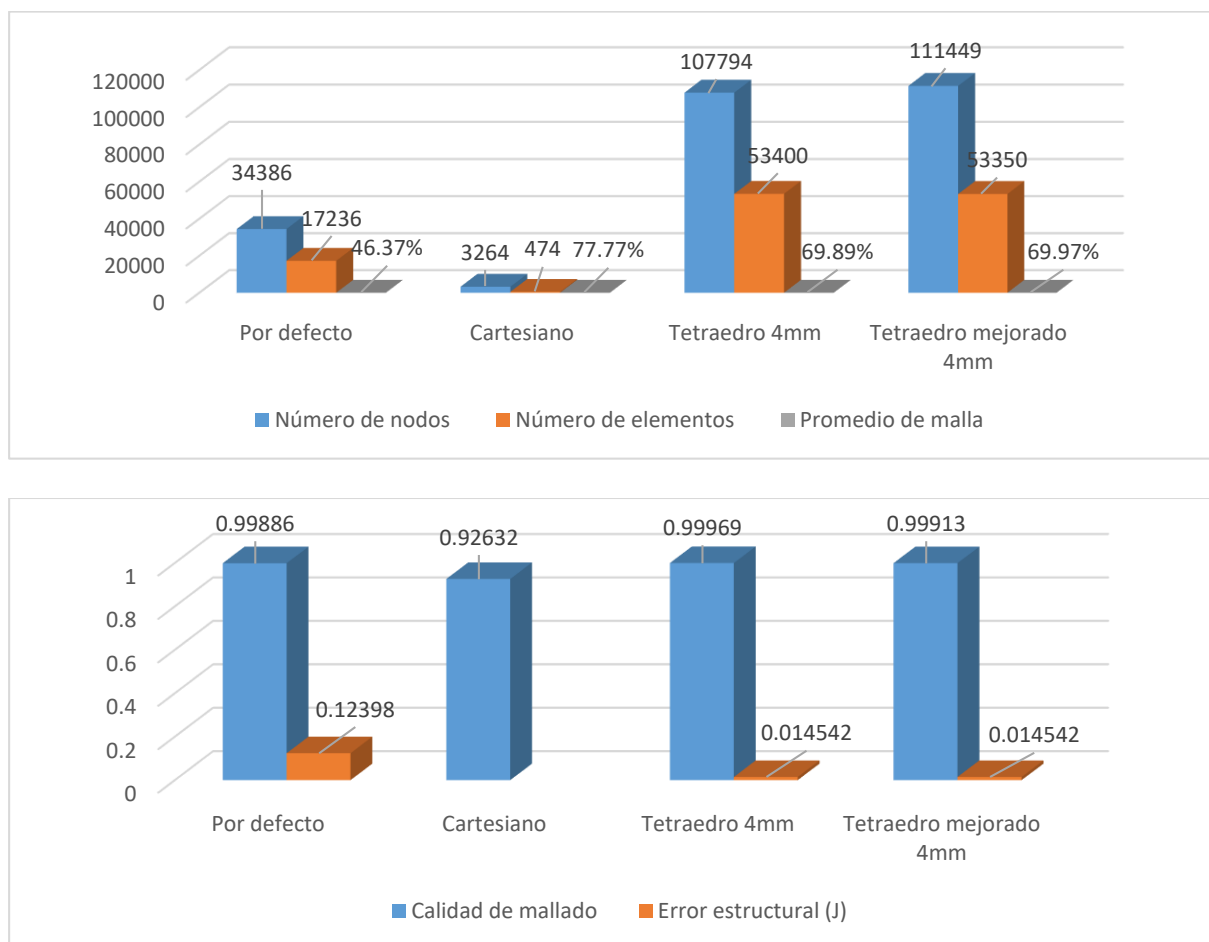
**Tabla 71**

*Cuadro de comparación de malla.*

Cuadro de comparación de mallas					
Tipo de malla	Número de nodos	Número de elementos	Promedio de malla	Calidad de mallado	Error estructural (J)
Por defecto	34386	17236	46.37%	0.99886	0.12398
Cartesiano	3264	474	77.77%	0.92632	
Tetraedro 4mm	107794	53400	69.89%	0.99969	0.014542
Tetraedro mejorado 4mm	111449	53350	69.97%	0.99913	0.014542

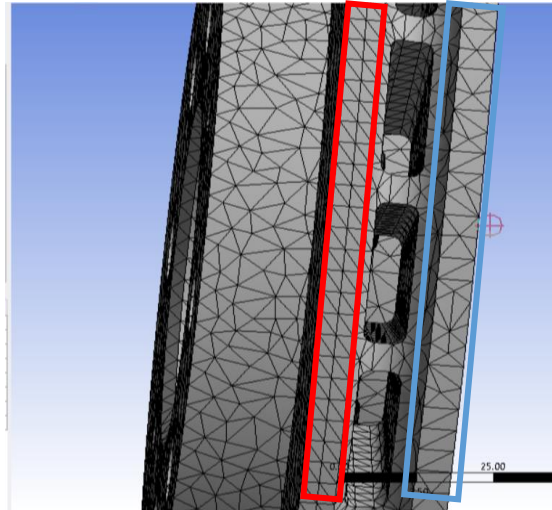
*Fuente: Autores*





**Figura 77** Diagrama de bloque de tipos de mallado *Fuente:* Autores

Se procedió con la selección del mallado “tetraédrico mejorado de 4mm”, que en comparación del “tetraedro 4mm” tiene una pequeña particularidad en lo que corresponde con un mallado tipo local en los laterales del disco con el uso del comando “Fesh Meshing” como se muestra en la siguiente figura 78, y aunque el valor de diferencia sea poco para esta simulación fue la considerada.



**Figura 78** Mejoramiento local de malla. color rojo: malla mejorada, color celeste: malla no mejorada. **Fuente:** Autores

### 5.3 Propiedades de los materiales del disco y pastilla de freno.

Para el material del disco de freno fue tomada del paquete que nos ofrece la biblioteca Granta MI el cual brinda las siguientes propiedades tomadas en consideración, la pastilla de freno semimetálica se toma en cuenta de la marca TRIMAT (Trimat MN 1081 y Trimat GZC) (Lozada1, 2018), se asignó de manera manual agregando dicho material a la biblioteca. para la figura 71 y 72 lo señalado en los cuadros rojos son las condiciones fundamentales para la crear un material en el software.

**Tabla 72**

*Propiedades del disco de freno "Gray Cast Iron"*

Properties of Outline Row 6: Gray Cast Iron			
	A	B	C
1	Property	Value	Unit
2	Material Field Variables	Table	
3	Density	7200	kg m <sup>-3</sup>
4	Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion		
5	Coefficient of Thermal Expansion	1.1E-05	C <sup>-1</sup>
6	Isotropic Elasticity		
7	Derive from	Young's Modulus and Poisson...	
8	Young's Modulus	1.1E+11	Pa
9	Poisson's Ratio	0.28	
10	Bulk Modulus	8.3333E+10	Pa
11	Shear Modulus	4.2969E+10	Pa
12	Tensile Yield Strength	0	Pa
13	Compressive Yield Strength	0	Pa
14	Tensile Ultimate Strength	2.4E+08	Pa
15	Compressive Ultimate Strength	8.2E+08	Pa
16	Isotropic Thermal Conductivity	52	W m <sup>-1</sup> C <sup>-1</sup>
17	Specific Heat Constant Pressure, C <sub>p</sub>	447	J kg <sup>-1</sup> C <sup>-1</sup>
18	Isotropic Relative Permeability	10000	
19	Isotropic Resistivity	9.6E-08	ohm m

**Fuente Autores**

**Tabla 73**

Propiedades de la pastilla de freno "TRIMAT GZC".

Properties of Outline Row: 10: PASTILLA DE FRENO TRIMAT GZC			
	A	B	C
1	Property	Value	Unit
2	Material Field Variables	Table	
3	Density	1.94E-06	kg mm <sup>-3</sup>
4	Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion		
5	Coefficient of Thermal Expansion	9E-06	C <sup>-1</sup>
6	Isotropic Elasticity		
7	Derive from	Young's Modulus and Poisson...	
8	Young's Modulus	2.07E+05	MPa
9	Poisson's Ratio	0.32	
10	Bulk Modulus	1.9167E+11	Pa
11	Shear Modulus	7.8409E+10	Pa
12	Tensile Yield Strength	0	MPa
13	Compressive Yield Strength	0	MPa
14	Tensile Ultimate Strength	33.543	MPa
15	Compressive Ultimate Strength	134.31	MPa
16	Isotropic Thermal Conductivity	6E-07	W m <sup>-1</sup> C <sup>-1</sup>
17	Specific Heat Constant Pressure, C <sub>p</sub>	1050	J kg <sup>-1</sup> C <sup>-1</sup>

**Fuente** Autores

#### 5.4 Aplicaciones de carga y soporte.

Las aplicaciones de cargas, presiones, velocidades y temperatura dependen de las especificaciones y requerimientos del proyecto. Existen parámetros establecido como es en la norma ISO 6310 donde para un vehículo comercial su presión máxima de contacto es de 8 MPa.

*“Durante frenadas normales, relativamente suaves la fuerza de presión la almohadilla contra el disco es de aproximadamente 5 kN, lo que resulta en un valor nominal presión en la superficie de la almohadilla justo por encima de 1,2 MPa. En situaciones extremas, la presión podría ser cerca de 10 MPa. Durante frenadas duras, la disipación de potencia en una pastilla de freno fácilmente excede de 30 kW. Estas altas densidades de energía como resultado de altas temperaturas de la superficie y por lo tanto ponen exigencias especiales en los materiales de fricción”* (García-León, 2017)

**Tabla 74**

Valores establecidos para pruebas.

Tipo de conjunto de freno	Presión máxima en la interfaz de contacto Mpa	Aplicar la tasa de rampa de presión Mpa/s	Tasa de aplicación en el control de velocidad de la cruceta mm/min
Disco de vehículo comercial	8	4,0 ± 0,5	15
Tambor de vehículo comercial	5	2,5 ± 0,5	10
Forro de freno de tambor	3	1,5 ± 0,5	6
Para almohadilla grande, 5 MPa es una presión alternativa utilizada			

**Fuente:** (INTERNATIONAL STANDARD ISO 6310, 2009)

A continuación, se procederá con las especificaciones para la simulación tanto térmica como estructural.

Térmico:

- Colocar la temperatura ambiente 28°C.
- Colocar las convecciones que afectan en los discos de freno.
- Colocar la temperatura de trabajo del disco de freno 88.9°C.

Solución térmica:

- Temperatura.
- Flujo de calor total.
- Dirección de flujo de calor.

Estructural:

- Colocar un soporte fijo.
- Colocar la velocidad rotacional de 19.44 rad/s
- Colocar un coeficiente de fricción 0.40
- Colocar presión máxima que se ejerce la pastilla al disco de freno que se tomara el valor más alto 8 MPa,

Solución estructural:

- Deformación total.
- Equivalente de Von-Mises.
- Error estructural.

## CONCLUSIONES

- Realizadas todas las pruebas de campo con sus respectivas repeticiones se buscó tener el mejor escenario donde brinde un mayor desempeño y obtener la mayor eficacia al sistema de frenos, en donde las variables de entrada influyeron de manera significativa una más que otras en la temperatura, tiempo y distancia de frenado.
- En base a los resultados obtenidos de las pruebas de ruta y en el análisis del software Minitab se analizó que el sistema de frenos alcanza una mayor eficacia al verse incrementada la temperatura final del disco llegando alcanzar un 90.69% siendo este superior a las demás condiciones de pruebas como se observa en la figura 60, de manera que este valor de eficacia se obtiene al utilizar discos originales en una superficie de hormigón empleando un peso de 1230 kg. Partiendo de que las condiciones son favorables con el resultado obtenido debido a que la calzada de hormigón presenta un coeficiente de fricción que oscila entre 0.8 a 0.9 atribuyendo una buena adherencia entre el neumático y la calzada, la composición del disco de freno también atribuyen en tener una mejor eficacia al frenado debido a las características físicas vease en la tabla 4 y químicas que lo conforma tabla 1.
- Para determinar el tiempo que transcurre cuando el conductor acciona el pedal del freno hasta que se detiene por completo, los resultados de la gráfica de Pareto indican cuatro factores de los cuales se consideró analizar los dos de interacciones dobles obteniendo, así el menor tiempo cuando se emplea un peso de 1305 kg al vehículo y cuando este recorre en una superficie de hormigón para que el vehículo se detenga a 1.89s. en comparación al otro factor en donde se tiene más tiempo de 2.05s al utilizar discos originales con un peso de 1230 kg.
- Para determinar la distancia de frenado se debe recalcar que ninguna de las pruebas de campo se sobrepasó los límites máximos de distancia como se observa en la tabla 10. De manera que se busca obtener la menor distancia posible una vez pisado el pedal del freno, siendo esta la mejor condición basados en el análisis estadístico y la interacción entre las variables, al emplear discos alternos en una superficie de hormigón a una velocidad de 50 km/h y teniendo un peso de 1230 kg se obtiene una distancia media de 6.24 m.

- En cuanto a la superficie de grava que también se consideró para esta investigación se determina, basado en los resultados del tiempo y la distancia de frenado que el tipo de calzada afecta de manera significativa en la dinámica vehicular debido a que en esta superficie había tierra y piedras sueltas provocando un aumento progresivo de deslizamiento del neumático con respecto a la vía, por lo que se puede observar que a medida que se desarrolla más velocidad y la carga sobre el vehículo este tiende a aumentar más el tiempo y la distancia de frenado.
- Para el análisis térmico y estructural en Ansys, se necesita realizar un mallado acorde a la pieza de estudio, según datos obtenidos en la tabla número 71, podemos definir lo siguiente:
  - Se obtuvieron cuatro tipos de mallados, el mallado por defecto arroja un valor de 46.37%, dado que con ese porcentaje no se va a poder realizar una buena simulación, además de que el error estructural está muy próximo a 0.5.
  - En el siguiente mallado se usó un tipo cartesiano, este mallado tiene un porcentaje promedio de la malla de 77.77%, con este tipo de porcentaje se va obtener mejores valores para la simulación del disco de freno, dada que para esta investigación se usó una versión estudiantil no se obtuvo un valor del error estructural.
  - En los mallado “tetraédrico de 4mm” como el mejorado, ambos arrojan porcentajes similares, con una diferencia 0.8%, la forma de la malla con estos porcentajes va ser más fina proporcionándonos un error estructural mínimo.
- Para la simulación en Ansys Workbench ya sea térmica o estructural se consideraron tres factores importantes como son, geometría del disco, peso y material de fabricación, sino se toman en cuenta esos factores lo resultados de la simulación no se podrían compararlos con los resultados obtenidos durante la prueba de ruta.
- Para los materiales de disco y pastilla de freno, debido a las limitaciones de la biblioteca se utilizó propiedades en limite inferiores para propiedades físicas, mecánicas y térmicas que brinda el software como son” Gray Cast Iron” para disco de freno y para pastilla “trimat gzc”, para ejecutar la simulación.

## RECOMENDACIONES

- Efectuar las pruebas de campo verificando que en las superficies que se hayan designado para hacer las pruebas de ruta estén completamente secas y sin ningún obstáculo e irregularidades a lo largo de vía ya que estos interfieren de manera directa sobre los resultados esperados.
- Verificar las condiciones climáticas como la humedad de la calzada, la velocidad del viento, temperatura ambiente no interfieran al momento de tomar los datos y que estos se encuentren dentro de lo que establece la norma, recalcando que esta investigación se realizó en época de invierno.
- Considerar el uso de un acelerómetro que ayude al investigador obtener datos más precisos sobre los valores de desaceleración cuando se realice las paradas de frenado.
- Considerar en el diseño de experimentos más repeticiones en cada prueba de ruta para que de esa forma poder conseguir más datos que permitan ser más precisos, al momento de determinar el mejor comportamiento de las variables dependientes.
- Considerar como variable independiente dos diferentes tipos de pastillas de freno en donde se pueda ver el comportamiento de la temperatura final del disco, el tiempo de frenado y la distancia de frenado y de ahí poder determinar mejores alternativas de repuestos para implementarlos en el vehículo Aveo Emotion.
- Para la obtención de un promedio de calidad de malla mayor a un 70 % se debe considerar una licencia profesional, dado que una licencia tipo estudiantil Ansys Workbench tiene un límite en lo que corresponde en “element size “y con esa restricción las simulaciones no corren.
- Para las simulaciones de análisis finitos se debe considerar tres variables indispensables como son el peso, geometría y los materiales, en este caso los materiales de fricción deben ser acorde con la composición real del disco y pastilla, caso contrario el total de la simulación no resultaría lo indicado.

- En el caso de obtener las propiedades de los materiales tanto físicas o químicas que exige ANSYS estos se deberán llenar de manera manual para evitar errores en la simulación.



## REFERENCIA

- (2009). En J. F. Jaime Carlos Borja, *Sistemas de Transmisión y Frenado* (pág. 172). Madrid: MACMILLAN Profesional.
- AEADE. (2016-2017). *Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador*. Ecuador-Guayaquil. Obtenido de <https://www.aeade.net/>
- Andrés, L. S. (2017). *ANÁLISIS COMPARATIVO DE UN DISCO DE FRENO ORIGINAL FRENTE A UN ALTERNO PARA UN VEHÍCULO CHEVROLET AVEO MEDIANTE SIMULACIÓN Y PRUEBAS EXPERIMENTALES*". Escuela Superior Politécnica de Chimborazon Facultad de Mecánica, Riobamba-Ecuador.
- Arias-Paz, M. (2004). *MANUAL DE AUTOMÓVILES* .
- Boles, Y. A.-M. (2011). *Termodinamica*. Mc Graw Hill.
- Carlos Fernández Collado, P. B. (s.f.). *Metodología de la Investigación* . Mexico: McGraw Hill.
- Carlos Francisco Cevallos Arboleda, R. S. (Agosto 2016). *Estudio del coeficiente de adhéncia de la zona andina mediante norma ECE-13H*. Quito-Ecuador.
- Carlos, R. (29 de Octubre de 2014). *SCRIB*. Obtenido de Chevrolet Aveo Emotion - Ficha Tecnica\_ Detalles y Especificaciones: <https://es.scribd.com/document/244875310/Chevrolet-Aveo-Emotion-Ficha-Tecnica-Detalles-y-Especificaciones>
- Carrillo, A. J. (mayo de 2015). *Los Materiales de fricción y su influencia en la eficiencia de frenado*. Obtenido de Los Materiales de fricción y su influencia en la eficiencia de frenado.
- CES EduPAck. (2018). Granda Desing. 1-2.
- Diana Perugachi, C. V. (2010). *Diseño, construcción e implementación de un Sistema Electrónico de Seguridad ontra robo aplicado en un Sistema de Frenos de un vehículo liviano marca Chevrolet Aveo 1.4*. Quito-Ecuador.
- EDUARDO ÁGUEDA CASADO, T. G. (2012). *Sistemas de transmisión de fuerzas y trenes de rodaje* 2.<sup>a</sup> edición. Madrid, España: Paraninfo S.A.
- Esteban José Domínguez Soriano, J. F. (2018). *Sistemas de transmisión y frenado*. Editex. Obtenido de <https://books.google.com.ec/books?id=1hhfDwAAQBAJ&pg=PA243&dq=tipos+de+discos+d+e+freno+macizos&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwjx6cmWgv3zAhXEQTABHUTjCq8Q6AF6BAgIEAI#v=onepage&q=tipos%20de%20discos%20de%20freno%20macizos&f=false>
- Fernández, F. J. (Enero de 2018). *Estudio del sistema de frenado en los vehículos ligeros*. Obtenido de Estudio del sistema de frenado en los vehículos ligeros: [https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/113326/REPORT\\_470.pdf](https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/113326/REPORT_470.pdf)
- Gaibor Garcia Roque Fernando, N. T. (2014). *Diseño, construcción e implementación de un sistema electrónico de enfriamiento para los discos de freno de un vehículo chevrolet vitara 3 puertas*. *Tesis de grado*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba - Ecuador.
- García-León, R. A. (2017). Estudio térmico en tres frenos de disco ventilados, utilizando el análisis de elementos finitos. *DYNA* 84 (200), 19-27. doi:<http://dx.doi.org/10.15446/dyna.v84n200.55663>

- Google. (10 de Enero de 2021). [*Centro comercial Oasis Av.2B N-E al norte de la ciudad de Guayaquil*]. Obtenido de <https://earth.google.com/web/search/centro+comercial+oasis,+Guayaquil/@-2.06449967,-79.90848934,8.18643601a,112.27048345d,35y,-114.94256959h,44.99400082t,0r/data=CigiJgokCbC8r5W-xgDAEXlyGTzx0QDAGUL6cYY8-VPAIUx-D2GZ-VPA>
- Google. (10 de Enero de 2021). [*Parque samanes Av. Paseo del parque al norte de la ciudad de Guayaquil*]. Obtenido de <https://earth.google.com/web/search/Av.+Paseo+del+Parque,+Guayaquil/@-2.09991635,-79.89686935,4.69148901a,414.03768168d,35y,177.7405883h,59.99999109t,360r/data=CigiJgokCf0rDR-leADAEWwvb2t2igDAGRm90QoA-IPAIZNs0EBm-IPA>
- Gustavo R. Di Rado, D. S. (s.f.). *ANÁLISIS DE LAS FUERZAS QUE ACTÚAN EN LA INTERFACE NEUMÁTICO – CARRETERA. MODELOS DE SIMULACIÓN DE*. Asociación Argentina de Mecánica Computacional , Mendoza- Argentina .
- INTERNATIONAL STANDARD ISO 6310. (2009). *Road vehicles — Brake linings — Compressive strain test methods* .
- Llivichuzhca, P. W.-W. (s.f.). Diseño e implementación en un sistema de medición de temperatura de frenos de disco a bordo en un vehículo. *Título de Magíster en sistemas automotrices* . Escuela Politécnica Nacional, Quito- Ecuador .
- Lloyd, M. (2015-2021). *UAV Forecast*.
- Lozada1, A. F. (2018). Análisis por el método de elementos finitos del comportamiento de las pastillas de freno ABS con base de acero y zinc al discretizar el elemento continuo al utilizar “software” CAE. doi:<https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v9n1>
- Mario Chérrez-Troya, J. M.-G.-Z.-C. (2018). Métodos multicriterio aplicados en la selección de un material para discos de freno. *INGENIUS*, 83-95. doi:<https://orcid.org/0000-0001-7628-9793>
- Pablo Luque, D. Á. (2008). *Ingeniería del Automóvil Sistemas y Comportamiento Dinámico*. Madrid,España: Paraninfo.
- Paúl Wilfrido Méndez Torres, W. F. (2017). Diseño e implementación en un sistema de medición de temperatura de frenos de disco a bordo en un vehículo. *Proyecto previo a la Obtención del título de magíster en sistema automotrices*. Escuela Politécnica Nacional Facultad de Ingeniería Mecánica, Ecuador-Quito.
- Piedra, D. A. (2016). Análisis de los discos de frenos de un chevrolet aveo cuando esta sometido a diversas temperatura para determinar el cambio de propiedades del mismo. *Obtención del título de ingeniero automotriz*. Universidad Tecnológica Equinoccial, Ecuador-Quito.
- Ricardo Andrés García León. (2016). Estudio analítico de la transferencia de calor por convección que afectan los frenos de disco ventilados. *Tecnura*, 15-30. doi:<http://dx.doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2016.2.a01>
- Ricardo Andrés García-León, R. D.-D.-S. (2018). Análisis termodinámico de un disco de freno automotriz con pilares de ventilación tipo NACA 66-209. *INGE CUC*, 9-18. doi:<https://doi.org/10.17981/ingecuc.14.2.2018.01>
- SOLÍS, J. P. (2014). *BANCO DE PRUEBAS PARA EL ANÁLISIS Y COMPORTAMIENTO TÉRMICO DEL SISTEMA DE FRENOS DE DISCO Y TAMBOR EN AUTOMÓVILES*. LATACUNGA,.

- Triay, I. C. (2018). *Diseño del sistema de frenado de un automóvil. Cálculo de la geometría, materiales, energía disipada, par de frenado, fuerzas de accionamiento y circuito hidráulico*. Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño, Valencia.
- VLADIMIR, G. G.-N. (2014). “*DISEÑO, CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA ELECTRÓNICO DE ENFRIAMIENTO PARA LOS DISCOS DE FRENO EN UN VEHÍCULO CHEVROLET VITARA 3 PUERTAS*”. Escuela Superior Politecnica de Chimborazo, Riobamba - Ecuador.
- Yunus A. Çengel, M. A. (s.f.). *Termodinámica* (Vol. Séptima Edición). Mc Graw Hill.

## Anexos

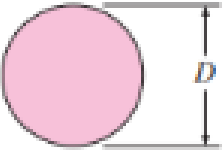
## Anexo A: Tabla A-15 Propiedades del aire a la presión 1 atm

TABLA A-15

Propiedades del aire a la presión de 1 atm

Temp., $T, ^\circ\text{C}$	Densidad, $\rho, \text{kg/m}^3$	Calor específico, $c_p, \text{J/kg} \cdot \text{K}$	Conductividad térmica, $k, \text{W/m} \cdot \text{K}$	Difusividad térmica, $\alpha, \text{m}^2/\text{s}^2$	Viscosidad dinámica, $\mu, \text{kg/m} \cdot \text{s}$	Viscosidad cinemática, $\nu, \text{m}^2/\text{s}$	Número de Prandtl, Pr
-150	2.866	983	0.01171	$4.158 \times 10^{-6}$	$8.636 \times 10^{-6}$	$3.013 \times 10^{-6}$	0.7246
-100	2.038	966	0.01582	$8.036 \times 10^{-6}$	$1.189 \times 10^{-5}$	$5.837 \times 10^{-6}$	0.7263
-50	1.582	999	0.01979	$1.252 \times 10^{-5}$	$1.474 \times 10^{-5}$	$9.319 \times 10^{-6}$	0.7440
-40	1.514	1 002	0.02057	$1.356 \times 10^{-5}$	$1.527 \times 10^{-5}$	$1.008 \times 10^{-5}$	0.7436
-30	1.451	1 004	0.02134	$1.465 \times 10^{-5}$	$1.579 \times 10^{-5}$	$1.087 \times 10^{-5}$	0.7425
-20	1.394	1 005	0.02211	$1.578 \times 10^{-5}$	$1.630 \times 10^{-5}$	$1.169 \times 10^{-5}$	0.7408
-10	1.341	1 006	0.02288	$1.696 \times 10^{-5}$	$1.680 \times 10^{-5}$	$1.252 \times 10^{-5}$	0.7387
0	1.292	1 006	0.02364	$1.818 \times 10^{-5}$	$1.729 \times 10^{-5}$	$1.338 \times 10^{-5}$	0.7362
5	1.269	1 006	0.02401	$1.880 \times 10^{-5}$	$1.754 \times 10^{-5}$	$1.382 \times 10^{-5}$	0.7350
10	1.246	1 006	0.02439	$1.944 \times 10^{-5}$	$1.778 \times 10^{-5}$	$1.426 \times 10^{-5}$	0.7336
15	1.225	1 007	0.02476	$2.009 \times 10^{-5}$	$1.802 \times 10^{-5}$	$1.470 \times 10^{-5}$	0.7323
20	1.204	1 007	0.02514	$2.074 \times 10^{-5}$	$1.825 \times 10^{-5}$	$1.516 \times 10^{-5}$	0.7309
25	1.184	1 007	0.02551	$2.141 \times 10^{-5}$	$1.849 \times 10^{-5}$	$1.562 \times 10^{-5}$	0.7296
30	1.164	1 007	0.02588	$2.208 \times 10^{-5}$	$1.872 \times 10^{-5}$	$1.608 \times 10^{-5}$	0.7282
35	1.145	1 007	0.02625	$2.277 \times 10^{-5}$	$1.895 \times 10^{-5}$	$1.655 \times 10^{-5}$	0.7268
40	1.127	1 007	0.02662	$2.346 \times 10^{-5}$	$1.918 \times 10^{-5}$	$1.702 \times 10^{-5}$	0.7255
45	1.109	1 007	0.02699	$2.416 \times 10^{-5}$	$1.941 \times 10^{-5}$	$1.750 \times 10^{-5}$	0.7241
50	1.092	1 007	0.02735	$2.487 \times 10^{-5}$	$1.963 \times 10^{-5}$	$1.798 \times 10^{-5}$	0.7228
60	1.059	1 007	0.02808	$2.632 \times 10^{-5}$	$2.008 \times 10^{-5}$	$1.896 \times 10^{-5}$	0.7202
70	1.028	1 007	0.02881	$2.780 \times 10^{-5}$	$2.052 \times 10^{-5}$	$1.995 \times 10^{-5}$	0.7177
80	0.9994	1 008	0.02953	$2.931 \times 10^{-5}$	$2.096 \times 10^{-5}$	$2.097 \times 10^{-5}$	0.7154
90	0.9718	1 008	0.03024	$3.086 \times 10^{-5}$	$2.139 \times 10^{-5}$	$2.201 \times 10^{-5}$	0.7132
100	0.9458	1 009	0.03095	$3.243 \times 10^{-5}$	$2.181 \times 10^{-5}$	$2.306 \times 10^{-5}$	0.7111
120	0.8977	1 011	0.03235	$3.565 \times 10^{-5}$	$2.264 \times 10^{-5}$	$2.522 \times 10^{-5}$	0.7073
140	0.8542	1 013	0.03374	$3.898 \times 10^{-5}$	$2.345 \times 10^{-5}$	$2.745 \times 10^{-5}$	0.7041
160	0.8148	1 016	0.03511	$4.241 \times 10^{-5}$	$2.420 \times 10^{-5}$	$2.975 \times 10^{-5}$	0.7014
180	0.7788	1 019	0.03646	$4.593 \times 10^{-5}$	$2.504 \times 10^{-5}$	$3.212 \times 10^{-5}$	0.6992
200	0.7459	1 023	0.03779	$4.954 \times 10^{-5}$	$2.577 \times 10^{-5}$	$3.455 \times 10^{-5}$	0.6974
250	0.6746	1 033	0.04104	$5.890 \times 10^{-5}$	$2.760 \times 10^{-5}$	$4.091 \times 10^{-5}$	0.6946
300	0.6158	1 044	0.04418	$6.871 \times 10^{-5}$	$2.934 \times 10^{-5}$	$4.765 \times 10^{-5}$	0.6935
350	0.5664	1 056	0.04721	$7.892 \times 10^{-5}$	$3.101 \times 10^{-5}$	$5.475 \times 10^{-5}$	0.6937
400	0.5243	1 069	0.05015	$8.951 \times 10^{-5}$	$3.261 \times 10^{-5}$	$6.219 \times 10^{-5}$	0.6948
450	0.4880	1 081	0.05298	$1.004 \times 10^{-4}$	$3.415 \times 10^{-5}$	$6.997 \times 10^{-5}$	0.6965
500	0.4565	1 093	0.05572	$1.117 \times 10^{-4}$	$3.563 \times 10^{-5}$	$7.806 \times 10^{-5}$	0.6986
600	0.4042	1 115	0.06093	$1.352 \times 10^{-4}$	$3.846 \times 10^{-5}$	$9.515 \times 10^{-5}$	0.7037
700	0.3627	1 135	0.06581	$1.598 \times 10^{-4}$	$4.111 \times 10^{-5}$	$1.133 \times 10^{-4}$	0.7092
800	0.3289	1 153	0.07037	$1.855 \times 10^{-4}$	$4.362 \times 10^{-5}$	$1.326 \times 10^{-4}$	0.7149
900	0.2998	1 168	0.07465	$2.122 \times 10^{-4}$	$4.600 \times 10^{-5}$	$1.535 \times 10^{-4}$	0.7205

Anexo B: tabla 7-1 Sección transversal del cilindro

Sección transversal del cilindro	Fluido	Rango de Re	Número de Nusselt
Círculo 	Gas o líquido	0.4-4	$Nu = 0.989Re^{0.330} Pr^{1/3}$
		4-40	$Nu = 0.911Re^{0.385} Pr^{1/3}$
		40-4 000	$Nu = 0.683Re^{0.466} Pr^{1/3}$
		4 000-40 000	$Nu = 0.193Re^{0.618} Pr^{1/3}$
		40 000-400 000	$Nu = 0.027Re^{0.805} Pr^{1/3}$

Anexo C: Tabla de diseño de corridas en el programa Minitab

Tabla de diseño

Corrida	A	B	C	D
1	-	-	-	-
2	+	-	-	-
3	-	+	-	-
4	+	+	-	-
5	-	-	+	-
6	+	-	+	-
7	-	+	+	-
8	+	+	+	-
9	-	-	-	+
10	+	-	-	+
11	-	+	-	+
12	+	+	-	+
13	-	-	+	+
14	+	-	+	+
15	-	+	+	+
16	+	+	+	+
17	-	-	-	-
18	+	-	-	-
19	-	+	-	-
20	+	+	-	-
21	-	-	+	-
22	+	-	+	-
23	-	+	+	-
24	+	+	+	-
25	-	-	-	+
26	+	-	-	+
27	-	+	-	+
28	+	+	-	+
29	-	-	+	+
30	+	-	+	+
31	-	+	+	+
32	+	+	+	+
33	-	-	-	-
34	+	-	-	-
35	+	+	-	-
36	+	+	-	-
37	-	-	+	-
38	+	-	+	-
39	-	+	+	-
40	+	+	+	-
41	-	-	-	+
42	+	-	-	+
43	-	+	-	+
44	+	+	-	+
45	-	-	+	+
46	+	-	+	+
47	-	+	+	+
48	+	+	+	+

Anexo D: Tipos de malla.

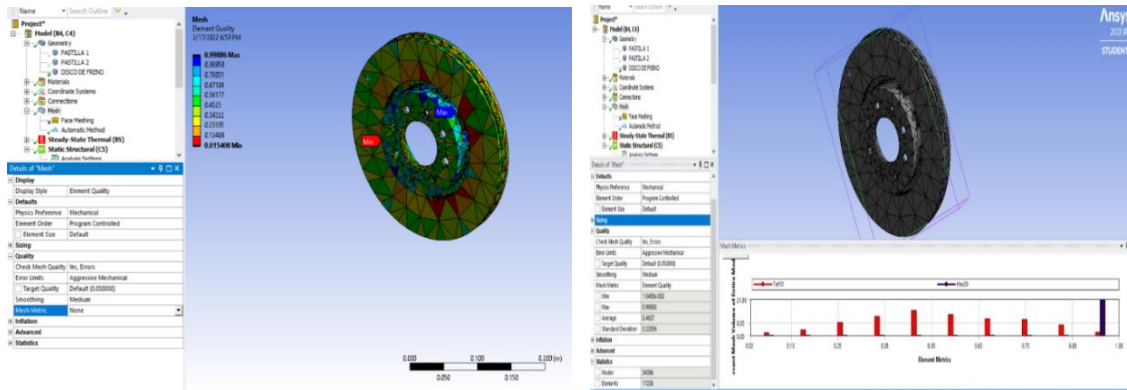


Figura 79 Mallado tetraédrico por defecto. Fuente: Autores

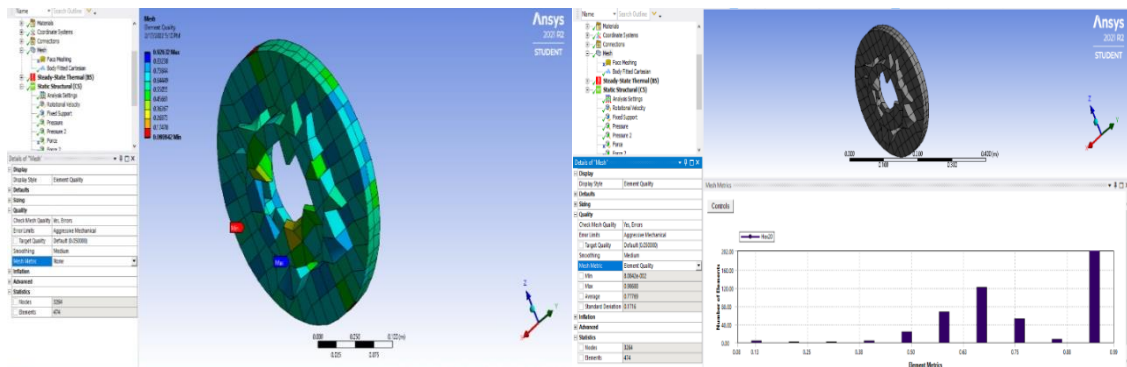


Figura 80: Mallado Cartesiano por defecto. Fuente: Autores

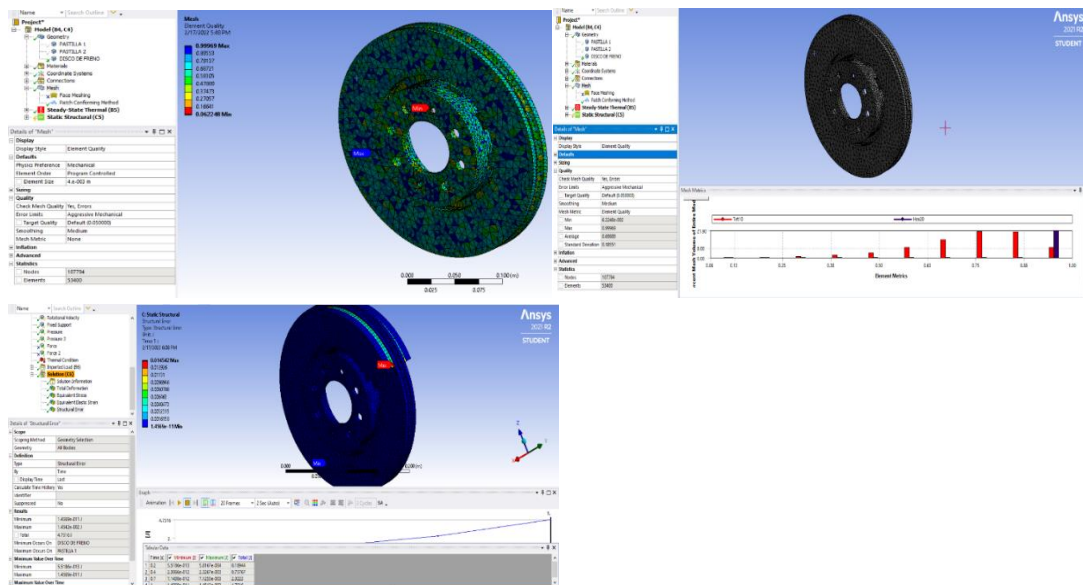


Figura 81 Mallado tetraédrico de 4mm. Fuente: Autores

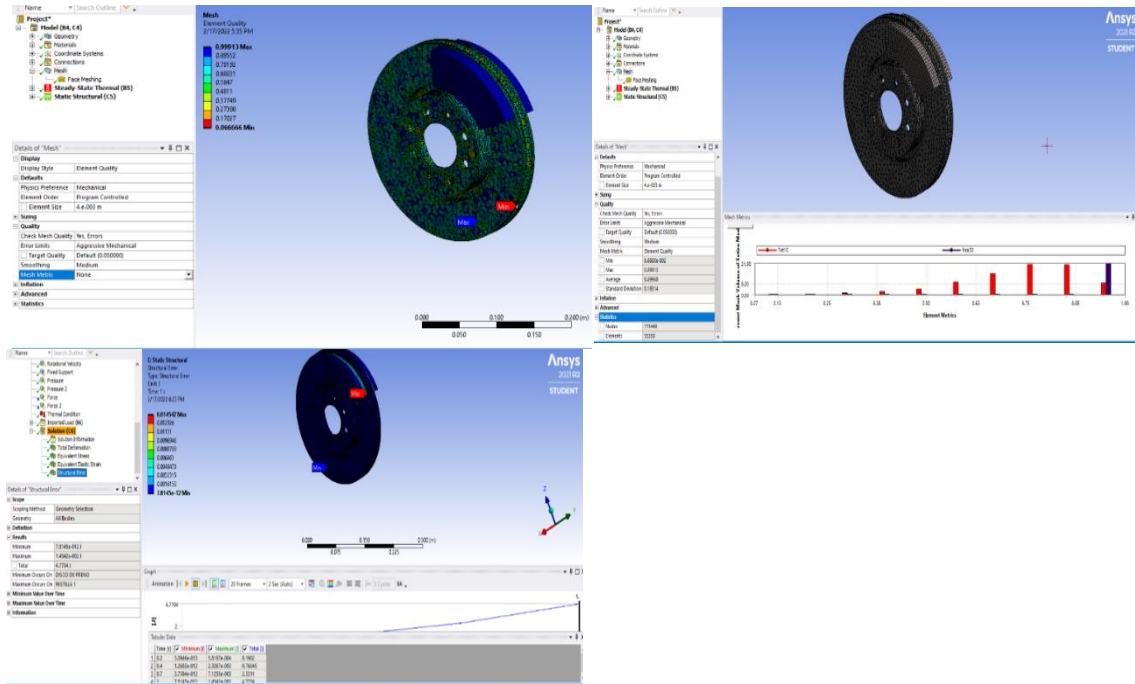


Figura 82 Mallado tetraédrico mejorado de 4mm. Fuente: Autores