



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

**REDISEÑO DEL DISCO DE FRENO DELANTEROS DEL VEHÍCULO  
CHEVROLET LUV 2.2 PARA LA COMPARACIÓN DE LA EFICIENCIA DE  
FRENADO Y ANÁLISIS TÉRMICO**

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

**AUTORES: STHEFANY MICAELA QUITO TENEMPAGUAY**

**MICHAEL ALEXANDER VICUÑA REYES**

**TUTOR: ING. ANDRÉS ESTEBAN ORDOÑEZ SEGARRA, MSc.**

Cuenca - Ecuador

2023

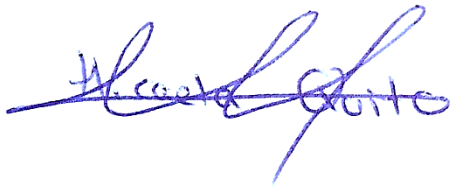
## **CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Nosotros, Sthefany Micaela Quito Tenempaguay con documento de identificación N° 0104823224 y Michael Alexander Vicuña Reyes con documento de identificación N° 0705477305; manifestamos que:

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

Cuenca, 5 de enero del 2023

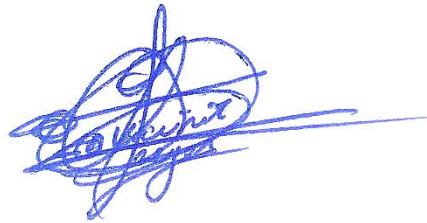
Atentamente,



---

Sthefany Micaela Quito Tenempaguay

0104823224



---

Michael Alexander Vicuña Reyes

0705477305

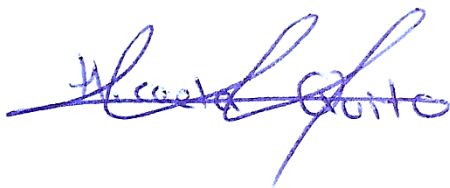
**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE  
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, Sthefany Micaela Quito Tenempaguay con documento de identificación N° 0104823224 y Michael Alexander Vicuña Reyes con documento de identificación N° 0705477305, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos los autores del Proyecto técnico: “Rediseño del disco de freno delanteros del vehículo Chevrolet LUV 2.2 para la comparación de la eficiencia de frenado y análisis térmico”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Automotriz, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

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

Cuenca, 5 de enero del 2023

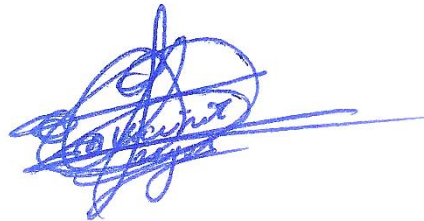
Atentamente,



---

Sthefany Micaela Quito Tenempaguay

0104823224



---

Michael Alexander Vicuña Reyes

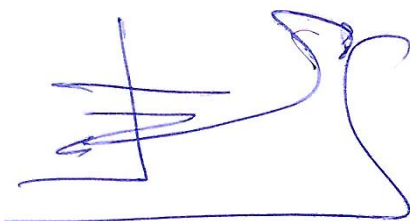
0705477305

## 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: REDISEÑO DEL DISCO DE FRENO DELANTEROS DEL VEHÍCULO CHEVROLET LUV 2.2 PARA LA COMPARACIÓN DE LA EFICIENCIA DE FRENADO Y ANÁLISIS TÉRMICO, realizado por Sthefany Micaela Quito Tenempaguay con documento de identificación N° 0104823224 y por Michael Alexander Vicuña Reyes con documento de identificación N° 0705477305, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Proyecto técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 5 de enero del 2023

Atentamente,



---

Ing. Andrés Esteban Ordoñez Segarra, MSc.

0103567863

## **DEDICATORIA**

*Esta tesis se la dedico a mis abuelos en el cielo y a mis padres que a pesar de la distancia su apoyo incondicional siempre ha estado presente y me han ayudado a conseguir esta meta.*

*Finalmente, a toda mi familia que me apoyaron directamente e indirectamente.*

***Sthefany Micaela Quito Tenempaguay***

## **DEDICATORIA**

*Mi tesis la dedico con todo mi amor y cariño a mis familiares en especial a mi padre Manuel Vicuña, tía Laura Vicuña, sr. Luis León y enamorada Isabel León por sus esfuerzos y sacrificios, por brindarme una carrera para el futuro, creer en mis capacidades y brindarme comprensión y cariño.*

***Michael Alexander Vicuña Reyes***

## **AGRADECIMIENTO**

*Agradezco a Dios y a la Virgen del Cisne como parte de mis creencias y fé por brindarme salud y fortaleza en mi día a día para poder enfrentar los retos como parte de las bendiciones que he sido agraciada, a mis padres que han sido un pilar fundamental para poder cumplir muchas metas en mi vida.*

*En especial a mis dos ángeles en el cielo Mariana V. (+) y Claudio T.(+) quienes han sido mis segundos padres , ya que todo lo que soy en esta vida se lo debo al cuidado y dedicación que me han brindado y mi amor hacia ellos será eterno.*

***Sthefany Micaela Quito Tenempaguay***

## **AGRADECIMIENTO**

*Primeramente, agradezco a la Universidad Politécnica Salesiana por haberme aceptado ser parte de ella y abierto las puertas de su seno científico para poder estudiar mi carrera. Así como también a los diferentes docentes que brindaron sus conocimientos y su apoyo para seguir adelante día a día.*

*Agradezco también a mi asesor de tesis Ing. Andrés Ordoñez por haberme brindado la oportunidad de recurrir a su capacidad y conocimiento científico, así como también haberme tenido toda la paciencia del mundo para guiarme durante el desarrollo de mi tesis.*

*Para finalizar, agradezco a mis tíos y padre ya que gracias a su apoyo emocional y económico no hubiese podido seguir mi carrera profesional.*

***Michael Alexander Vicuña Reyes***



## RESUMEN

Se realizó un estudio cuyo propósito fue comparar el comportamiento térmico, mecánico y la eficiencia de frenado de los discos de frenos ventilados a un modelo rediseñado del vehículo Chevrolet LUV 2.2 en el eje delantero. Se realizó el rediseño del disco sobre ventilado por medio de programas especializados CAD CAE y se aplicó dos diseños experimentales analizando factores como tipo de disco, velocidad, distancia de frenado y tiempo de frenado en el banco de pruebas Futur 2000 portátil en los laboratorios de automotriz de la Universidad Politécnica Salesiana, los procesos de acondicionamiento del vehículo y lineamientos de pruebas del instrumento de medición se basó en las normativas INEN. El modelo rediseñado obtuvo mejores parámetros para disipar la energía calorífica y mejor distribución de esfuerzos en el programa CAD y a su vez el DOE mostro una mejor eficiencia de frenado en los mismos parámetros de experimentación que el diseño original. Por lo tanto, se concluye que el rediseño tuvo un mejor desempeño en el experimento elevando la eficiencia de frenado del vehículo hasta el 40.5% tomando en cuenta el eje delantero y disipación de calor de 3°C.

***Palabras Claves:** Análisis térmico, disco de freno, frenómetro, DOE, INEN, Sistema de frenos.*

## ABSTRACT

The objective of this research was to compare the thermal and mechanical behavior and braking efficiency of ventilated brake discs on a redesigned model of the Chevrolet LUV 2.2 vehicle on the front axle. The redesign of the ventilated disc was carried out using specialized CAD CAE programs and two experimental designs were applied testing factors such as disc type, speed, braking distance and braking time on the Futur 2000 portable test bench in the automotive laboratories of the Salesian Polytechnic University, the vehicle conditioning processes and testing guidelines of the measuring instrument were based on INEN standards. The redesigned model obtained better parameters to dissipate heat energy and better stress distribution in the CAD program and in turn the DOE showed better braking efficiency in the same experimental parameters as the original design. Therefore, it is concluded that the redesign had a better performance in the experiment raising the braking efficiency of the vehicle up to 40.5% taking into account the front axle and heat dissipation of 3°C.

**Keywords:** Thermal analysis, brake disc, brake tester, DOE, INEN, brake system.

## TABLA DE CONTENIDO

<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>V</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>VII</b>
<b>AGRADECIMIENTO.....</b>	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>X</b>
1. INTRODUCCIÓN. ....	16
2. PROBLEMA .....	19
3. OBJETIVOS .....	22
3.1 Objetivo General .....	22
3.2. Objetivos Específicos.....	22
4. CAPITULO 1: FUNDAMENTOS TEORICOS Y ESTADO DEL ARTE.....	22
4.1 Principios de funcionamiento de sistema de freno.....	23
4.2 Sistema de freno. ....	24
4.3 Elementos del sistema de frenos. ....	24
4.3.1 Tambor y pastillas de freno.....	26
4.3.2 Pinzas de freno. ....	29
4.3.3 Bomba de freno. ....	30
4.3.4 Servo-asistencia.....	30
4.3.5 Tuberías y latiguillo. ....	31
4.3.6 Freno de estacionamiento.....	31
4.3.6.1 Sistema de accionamiento mecánico.....	32
4.4 Geometría de estudio del disco. ....	32
4.4.1 Disco de freno perforados. ....	32
4.4.2 Disco de freno estriado o ranurado. ....	33
4.4.3 Disco de freno perforado & rayado.....	34
4.4.4 Estructura. ....	34
4.4.4.1 Pista de frenado. ....	34
4.4.4.2 Campana del disco. ....	34

4.4.4.3	Fijación.....	34
4.4.4.4	Canal de refrigeración / Filtro térmico.....	35
4.5	Material del disco de Freno.....	35
4.5.1	Composición básica.....	35
4.6	Problemas presentes en disco-pastillas de freno a altas temperaturas. ....	36
4.6.1	Factores determinantes en la eficiencia del sistema de frenado.....	36
4.6.2	Fading.....	37
4.6.3	Judder.....	37
4.6.3.1	Cold Judder.....	37
4.6.3.2	Hot Judder.....	38
4.6.1	Calentamiento excesivo del disco.....	38
4.6.2	Desgastes prematuros.....	38
4.7	Ecuaciones del frenado.....	39
4.7.1	Ecuación fundamental del frenado.....	39
4.7.2	Distancia de frenado.....	40
4.7.3	Tiempo de frenado.....	40
4.7.4	Eficacia o rendimiento de frenado.....	41
4.7.5	Análisis térmico de los frenos.....	41
4.7.5.1	Disipación de energía del disco de freno.....	42
4.7.5.2	Energía disipada en el frenado.....	42
4.7.5.3	Temperatura entre dos cuerpos.....	43
4.7.5.4	Disipación de calor en el disco de freno.....	46
4.7.5.5	Transferencia de calor producida por conducción.....	46
4.7.5.6	Transferencia de calor producida por convección.....	46
4.8	Normativa.....	47
4.8.1	Normativa técnica ecuatoriana NTE INEN 2 349:2003.....	47
4.8.1.1	Equipamiento.....	47

4.8.1.2	Frenómetro. ....	47
4.8.1.2.1	Principio de funcionamiento de un frenómetro. ....	48
4.8.2	NTE INEN 2710 Vehículos automotores. Sistema de frenado para vehículos de categoría M,N y O. Requisitos y métodos de ensayo. ....	48
4.8.2.1	Ensayo con dinamómetro en calzada rodante. ....	49
4.8.2.1.1	Ensayo de tipo 0 (ensayo del rendimiento ordinario con los frenos fríos)	49
4.8.2.1.2	Ensayo de tipo 0 con el motor embragado. ....	49
4.8.2.1.3	Ensayo de tipo 1 (ensayo de pérdida de eficiencia). ....	49
4.9	Diseño de experimentos. ....	50
4.9.1	Experimento. ....	50
4.9.2	Variables, factores y niveles. ....	51
4.9.2.1	Variable(s) de respuesta. ....	51
4.9.2.2	Factores controlables. ....	51
5.	Capítulo 2: Simulación y construcción del disco de freno original y rediseñado a través de programas computacionales especializados. ....	52
5.1	Diseño y simulación del sistema a través de programas especializados ...	52
5.1.1	Solid Work. ....	52
5.1.2	ANSYS. ....	52
5.1.3	Rediseño del disco de freno original a sobre ventilado. ....	52
5.1.4	Modelado. ....	53
5.1.4.1	Construcción del plano inicial. ....	53
5.1.4.2	Construcción del canal de enfriamiento. ....	53
5.1.4.3	Proceso de ralladura y perforación. ....	54
5.1.5	Simulación en programa CAE del disco. ....	55
5.1.5.1	Análisis térmico. ....	57
5.1.5.1.1	Resultados. ....	57
5.1.5.2	Análisis de deformación. ....	60
5.1.5.2.1	Resultados. ....	60

5.2	Mecanizado del disco. ....	63
5.2.1	Procesos utilizados. ....	63
5.2.1.1	Post procesamiento de los datos. ....	65
5.2.2	Perforación de agujeros. ....	66
5.2.2.1	Fijación y centrado del disco de freno. ....	66
5.2.2.2	Perforación de agujeros de ventilación de disco de frenos. ....	66
5.2.3	Desbaste. ....	67
5.2.4	Acabado final. ....	68
6.	Capítulo 3: Diseño experimental y análisis de eficiencia de frenado. ....	68
6.1	Diseño del experimento. ....	69
6.1.1	VARIABLES usadas para el estudio. ....	69
6.1.2	Clasificación. ....	69
6.1.2.1	VARIABLES de entrada o independientes. ....	69
6.1.2.2	VARIABLE de salida o dependiente. ....	69
6.1.3	Hipótesis del experimento. ....	70
6.2	Proceso de experimentación. ....	70
6.2.1	Equipo Futur 2000. ....	70
6.2.1.1	Parámetros de pruebas. ....	71
6.2.2	Mantenimientos previos del vehículo de prueba. ....	71
6.2.3	Fase I de experimentación. ....	71
6.2.4	Fase II de experimentación. ....	72
6.3	Interpretación de los datos. ....	73
6.3.1	Fuerza de frenado en el vehículo. ....	73
6.3.1.1	Distribución de fuerzas en el eje delantero ....	73
6.3.1.2	Consideraciones del experimento. ....	75
6.3.2	Datos obtenidos. ....	76
6.4	Planteamiento del DOE de tipo factorial optimizado con superficies de respuesta. ....	78

6.4.1	Representaciones geométricas de los experimentos.....	78
6.4.2	Representaciones de YATE. ....	79
6.4.3	Valores críticos.....	79
6.4.4	Reglas de decisión.....	80
6.4.5	Implementación de programa computacional especializado estadístico... ..	80
6.4.5.1	Análisis del ANOVA. ....	81
6.4.5.2	Hipótesis aceptadas. ....	83
6.4.5.3	Interacción entre los factores.....	83
6.4.5.4	Contornos y superficies de respuestas.....	89
7.	Conclusiones. ....	92
8.	Recomendaciones.....	93
9.	Bibliografía. . ....	94
10.	Anexos.....	98

## Tabla de Figuras.

<b>Figura 1</b> Ubicación de experimentación del proyecto técnico. ....	21
<b>Figura 2</b> Equipamiento para realizar el proyecto técnico. ....	21
<b>Figura 3</b> Principio de pascal. ....	23
<b>Figura 4.</b> Elementos del sistema de frenos. ....	25
<b>Figura 5</b> Pedal del freno. ....	26
<b>Figura 6</b> Componentes del freno tambor. ....	27
<b>Figura 7.</b> Disco ventilado y no ventilado.....	28
<b>Figura 8</b> Pastilla de freno.....	29
<b>Figura 9.</b> Funcionamiento de las pinzas de freno. ....	29
<b>Figura 10</b> Servofreno Mastervac & Hidrovac .....	30
<b>Figura 11</b> Tuberías y latiguillos del sistema de frenado.....	31
Figura12 Freno de estacionamiento.....	32
<b>Figura13.</b> Disco de freno perforado. ....	33
<b>Figura 14.</b> Disco de freno ranurado o estriado. ....	33
<b>Figura 15.</b> Disco de freno perforado y rayado.....	34
<b>Figura16.</b> Cold Judder. ....	37
<b>Figura 17</b> Calentamiento del disco de freno.....	38
<b>Figura 18</b> Desgaste prematuro en el disco de freno. ....	39
<b>Figura 19</b> Deslizamiento de dos cuerpos.....	44
<b>Figura 20</b> Carga de calor. ....	44
<b>Figura 21</b> Distribución de temperatura.....	46
<b>Figura 22</b> Toma de medidas del disco de freno.....	52
<b>Figura 23</b> Plano de construcción del perfil del elemento. ....	53
<b>Figura 24</b> Construcción del canal de enfriamiento y modelado.....	54
<b>Figura 25</b> Ranurado y perforado del elemento. ....	54
<b>Figura 26</b> Designación de propiedades mecánicas y contactos del elemento. ....	55
<b>Figura 27</b> Mallado del elemento.....	56
<b>Figura 28</b> Designación de temperaturas en las superficies del elemento. ....	57
<b>Figura 29</b> Variables aplicadas al análisis estructural del disco rediseñado & original. ....	60
<b>Figura 30</b> Setup del disco de freno. ....	64
<b>Figura 31</b> Procesos de mecanizado del elemento. ....	64
<b>Figura 32</b> Interpretación del programa a código G para maquina FANUC. ....	65



<b>Figura 33.</b> Coordenadas de la CNC para el mecanizado. ....	66
<b>Figura 34.</b> Proceso de perforación en el disco a través de la CNC. ....	67
<b>Figura 35.</b> Perforación de agujeros en la fresadora. ....	67
<b>Figura 36.</b> Debaste de las ranuras en el disco. ....	68
<b>Figura 37.</b> Acabado final de los discos de mecanizados. ....	68
<b>Figura 38.</b> Mantenimiento del sistema de frenos. ....	71
<b>Figura 39</b> Especificación del peso del vehículo. ....	72
<b>Figura 40</b> Vehículo en posición para realizar las pruebas en el frenómetro. ....	72
<b>Figura 41</b> Pruebas con el disco rediseñado. ....	72
<b>Figura 42</b> Obtención de fuerzas de frenado del vehículo en el eje delantero a 5 km/h. ....	74
<b>Figura 43</b> Base de datos de la opción frenómetro del equipo Futur 2000 durante el experimento. ....	76
<b>Figura 44</b> Límites geométricos del experimento con medias de datos para eficiencia. ....	78
<b>Figura 45</b> Declaración del DOE planteado en el punto 6.4. ....	81
<b>Figura 46</b> Efectos principales para el modelo ABD vs Eficiencia. ....	84
<b>Figura 47</b> Interacción entre factores del modelo ABD vs Eficiencia. ....	84
<b>Figura 48</b> Efectos principales para el modelo ACD vs Eficiencia. ....	85
<b>Figura 49</b> Interacción entre factores del modelo ACD vs Eficiencia. ....	85
<b>Figura 50</b> Gráfica normal de efectos estandarizados de los experimentos. ....	86
<b>Figura 51</b> Diagrama de Pareto de efectos estandarizados con nivel de significancia del 5% ....	86
<b>Figura 52</b> Conjunto de gráficas de residuos del modelo ABD vs Eficiencia. ....	87
<b>Figura 53</b> Conjunto de gráficas de residuos del modelo ACD vs Eficiencia. ....	88
<b>Figura 54.</b> Residuos del Modelo ACD vs eficiencia. ....	89
<b>Figura 55.</b> Residuos del Modelo ABD vs eficiencia. ....	89
<b>Figura 56</b> Gráficas de contorno y superficie de respuesta del modelo ABD vs. Eficiencia. ....	90
<b>Figura 57.</b> Gráficas de contorno y superficie de respuesta del modelo ACD vs. Eficiencia. ....	91

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Rendimiento de los sistemas de frenado de vehículos de las categorías M2, M3 Y N. ....	48
<b>Tabla 2.</b> Condiciones de dinamómetro en calzada rodante. ....	49
<b>Tabla 3.</b> Condiciones para ensayo tipo I. ....	50
<b>Tabla 4</b> Propiedades mecánicas, térmicas y físicas del acero ASTM 40. ....	55
<b>Tabla 5</b> Resultados de temperatura en el disco de freno. ....	58
<b>Tabla 6</b> Resultados de flujo de calor del disco de freno. ....	59
<b>Tabla 7</b> Resultados de temperatura por volumen del elemento. ....	59
<b>Tabla 8</b> Resultados de la deformación total. ....	61
<b>Tabla 9</b> Resultados de Tensión equivalente Von Mises. ....	62
<b>Tabla 10</b> Resultados de deformación por volumen del objeto. ....	63
<b>Tabla 11</b> Niveles y valores de los factores de estudio. ....	69
<b>Tabla 12</b> Diferentes parámetros de pruebas. ....	71
<b>Tabla 13</b> Resultados del experimento. ....	75
<b>Tabla 14</b> Resultado de eficiencia del experimento seleccionados para el DOE. ....	76
<b>Tabla 15</b> Espacio recorrido durante la frenada. ....	77
<b>Tabla 16</b> Tiempo transcurrido durante la frenada. ....	77
<b>Tabla 17</b> DOE con factoriales de velocidad, distancia de frenado y tipos de discos. ...	78
<b>Tabla 18</b> DOE con factoriales de velocidad, tiempo de frenado y tipos de discos. ....	78
<b>Tabla 19</b> Representación de YATE según el experimento. ....	79
<b>Tabla 20</b> Valor crítico para los experimentos. ....	80
<b>Tabla 21</b> Análisis de modelo medias vs. A; B; D: Coeficientes estimados. ....	81
<b>Tabla 22</b> Análisis de modelo medias vs. A; B; D: Resumen del modelo. ....	82
<b>Tabla 23</b> Análisis de modelo medias vs. A; B; D: Análisis de varianza de medias. ....	82
<b>Tabla 24</b> Análisis de modelo medias vs. A; C; D: Coeficientes estimados. ....	82
<b>Tabla 25</b> Análisis de modelo medias vs. A; C; D: Resumen del modelo. ....	82
<b>Tabla 26</b> Análisis de modelo medias vs. A; C; D: Análisis de varianza de medias. ....	82
<b>Tabla 27.</b> Hipótesis aceptadas según la regla de decisión. ....	83
<b>Tabla 28</b> Observaciones en los residuos del experimento ABD vs Eficiencia. ....	87
<b>Tabla 29</b> Observaciones en los residuos del experimento ACD vs Eficiencia. ....	88

## **1. INTRODUCCIÓN.**

En la actualidad se utiliza el disco de freno en los vehículos, el mismo que requiere cumplir varios parámetros como la durabilidad para absorber energía térmica durante la desaceleración y también debe afianzar una alta conductividad térmica para garantizar una máxima disipación de calor, resistencia a la corrosión, estabilidad de frenado y resistencia al desgaste.

En este último apartado se analizan distintas variables como eficiencia de frenado, conductividad térmica del disco y deformación del elemento frenante, siendo estos temas relevantes en el rediseño del disco de freno debido que al mecanizar el objeto está expuesto a cambios mecánicos y físicos tales como pérdidas de propiedades mecánicas y pérdida de masa o cambios de distribución de esfuerzos.

El presente proyecto técnico tiene como objetivo analizar las variables mencionadas en programas computacionales especializados CAD CAE, diseñar un disco de freno sobre ventilado y crear un diseño experimental por medios de software estadístico matemático para reconocer los factores de mayor importancia en la eficiencia de frenado, comparado si un disco de freno sobre ventilado resulta tener mejor rendimiento que el disco de freno original. El proceso realizara pruebas acuerdo a la normativa 2349 y 2710 del *Instituto Ecuatoriano de Normalización* y al manual de operación Futur 2000 portátil en los laboratorios de la Universidad Politécnica Salesiana.

El instrumento de medición nos proporcionara fuerzas de frenado de cada disco de freno y la fuerza de pie para la frenada del vehículo, esta información será recopilada a fin de aplicarlas en fórmulas matemáticas que se estudiaran posteriormente. Con los resultados obtenidos se procede a realizar un diseño experimental, comparando los factores que intervienen en la eficiencia de frenado del automotor; se debe considerar el reparto del peso vehicular entre sus ejes, en este vehículo se considera un 60% y 40% entre eje delantero y posterior respectivamente.

## **2. PROBLEMA**

### **Antecedentes**

Ecuador los datos obtenidos en la investigación para los vehículos subcategoría N1, M1 y M3 destaca que las fallas más comunes se dan por desequilibrio de frenado en

el segundo eje en alrededor de 26.653 vehículos y la disminución de la eficiencia de freno de estacionamiento en 39.065 vehículos. El vehículo de estudio Chevrolet LUV 2.2, subcategoría N1, causa accidentes de tráfico del 3,70% por ineficiencia del frenado en el eje delantero (Montero-Salgado et al., 2022). Esta deficiencia es producida por energía térmica en la superficie de contacto entre el disco y pastillas de freno, ocasionando el fenómeno fading (Talati & Jalalifar, 2009); por otra parte, reconocer si el flujo de aire entre ellos tiene un factor positivo. Resultando necesario analizar el comportamiento de las alteraciones de temperatura en el disco de freno.

### **Importancia y Alcances**

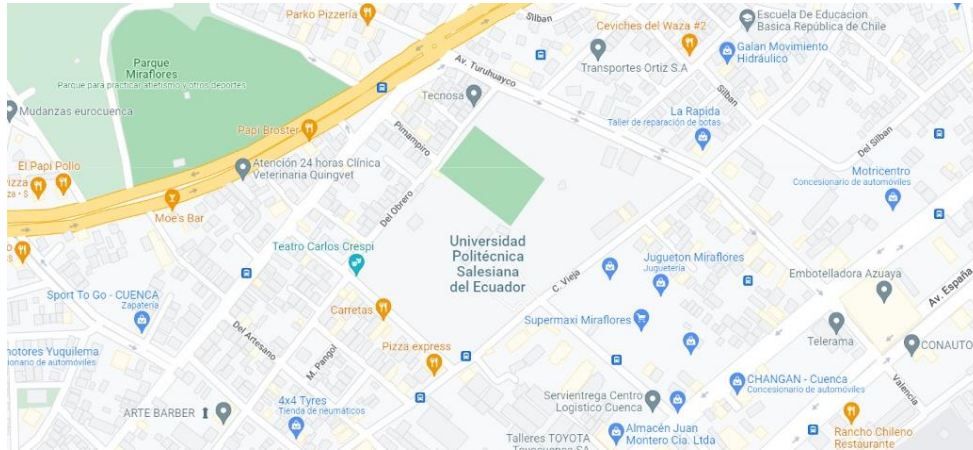
Guasgua Jaime et al. Menciona que, en el año 2018 se registran 25530 accidentes de tránsito de 14% correspondiente a la categoría N1 los cuales se atribuye al sistema de frenado las situaciones como choque frontal, choque posterior, estrellamiento, atropello y choque lateral. Y entre el año 2010 al 2018 se registran 486 accidentes provocados por fallas mecánicas a las cuales se le atribuye 79% a la subcategoría N1 (Maldonado & Neira, 2019). Por otro parte entre los años 2010 y 2018 existió una reducción significativa de accidentes de tránsito del 87.90% presentados por SIAT y OIAT (Montero-Salgado et al., 2022); Según un estudio realizado en el año 2021, la incorporación de la nueva ley de tránsito del año 2014 que entró en vigor redujo a un 31.4% los accidentes (Espinoza-Molina et al., 2021).

El vehículo seleccionado para el estudio es Chevrolet LUV 2.2, posee en la parte posterior un conjunto de zapatas-tambor y en la parte frontal disco-pastillas de freno (ISUZU, 1998) accionados por fluido hidráulico por medio de un pistón en el cilindro maestro, provocando la desaceleración de forma progresiva del automóvil. El presente proyecto propone una alternativa de disco de freno convencional asimilando su estructura a un disco de freno ventilado, ya que estos últimos tienen una mejor disipación de calor incrementando su eficacia de frenado y efectividad en la desaceleración hasta un 32.4 % (Rojas et al., 2020), incluso alivianar los costos de mantenimiento/cambio del elemento frenante, aumentando la perdurabilidad del mismo en el vehículo, además, el proyecto constituye un gran recurso para los estudiantes, incentivando a los mismo a generar ciencia y conocimiento con gran responsabilidad para aportar a la sociedad debido a que el mundo de ahora demanda profesionales capaces de ingeniar nuevas tecnologías para satisfacer las necesidades del mañana.

### **Delimitación.**

El presente proyecto de grado se realizó en la ciudad de Cuenca, en los talleres de la Universidad Politécnica Salesiana en los laboratorios de mecánica automotriz a una altitud de 2556 m

**Figura 1**  
*Ubicación de experimentación del proyecto técnico.*



La instrumentación para la adquisición de datos del experimento es el banco de pruebas Futur 2000 portátil, además, se usaron otras herramientas como flexómetros, calibradores, pistolas neumáticas, elevadores, etc. para realizar el mantenimiento necesario al automotor.

**Figura 2**  
*Equipamiento para realizar el proyecto técnico.*



### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1 Objetivo General**

Rediseñar el disco de freno delanteros del vehículo Chevrolet LUV 2.2 para la comparación de la eficiencia de frenado y análisis térmico.

#### **3.2. Objetivos Específicos**

- Generar un estado del arte en base a la literatura ya existente sobre el comportamiento mecánico y térmico del sistema de frenos del vehículo automotor.
- Rediseñar el disco de freno delantero del vehículo Chevrolet LUV 2.2.
- Analizar el comportamiento mecánico y térmico del freno rediseñado del vehículo Chevrolet LUV 2.2.

### **4. CAPITULO 1: FUNDAMENTOS TEORICOS Y ESTADO DEL ARTE.**

El sistema de frenos es uno de los sistemas más importantes de la seguridad activa del automóvil, este debe ser progresivo, eficaz y previsible para que el conductor en todo momento pueda contemplar el comportamiento de vehículo durante la acción del frenado, al mismo tiempo debe ser capaz de intuir una distancia de frenado. (Águeda Casado et al., 2012)

Según Águeda Casado et al., 2012 para detener el vehículo, el sistema de frenos convierte la energía cinética producida por su desplazamiento en calor, utilizando para ello el rozamiento de los elementos mecánicos.

Los frenos deben proporcionar una fuerza de frenado de menor intensidad que la fuerza de impulsión, caso contrario este provocará el bloqueo de las ruedas e impedirá el rozamiento de los elementos frenantes perdiendo el control del vehículo. En una situación de frenado estas fuerzas se aculan en el centro de gravedad, mayormente en la parte frontal del vehículo, generando un peso entre el eje delantero y posterior dando un 70% y 30% respectivamente (Borja et al., 2009).

Este sistema este sujeto a estándares de calidad tales como:

- Progresividad de frenado proporcional al esfuerzo realizado.
- Eficacia del frenado sin pérdidas de trayectoria y distancia de parada razonable.
- Los frenos de servicio por seguridad deben ser capaces de detener el vehículo con una pendiente mínima de 18%, además de contar con circuitos independientes.
- Regularidad en la operación del sistema con independencia de la condición en trabajo.

#### 4.1 Principios de funcionamiento de sistema de freno.

Según Acero & Calderón, (2019), los sistemas de freno se basan en dos principios fundamentales de la física, siendo los siguientes:

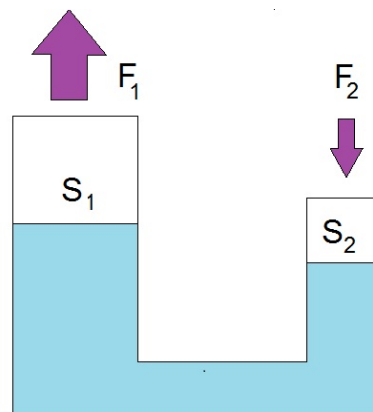
- La ley de Pascal.
- La fricción.

##### 4.1.1 La ley de Pascal.

En un fluido incomprensible, las variaciones locales de presión se transmiten íntegramente a todos los puntos del fluido y en todos los sentidos, así como a las superficies en contacto con el fluido. (Domingo, 2011)

#### Figura 3

*Principio de Pascal.*



*Nota.* El gráfico representa el principio de funcionamiento de Pascal, por E. Roberto, 2011, uv, <https://www.uv.es/uvweb/fisica/es/catalogo-demos/fluidos/principio-pascal-prensa-hidraulica-1286053998293/DemoExp.html?id=1286111060011>.

##### 4.1.2. La fricción.

Es la resistencia de movimiento en un objeto sólido que se mueve tangencialmente en referencia a otro sólido con el que se encuentra en contacto.

La fricción se expresa en términos de fuerza relativa como la relación entre la fuerza de fricción y carga nominal en la superficie de contacto. Se determina por un coeficiente representado por la letra griega  $\mu$ , donde  $\mu=0$  significa que no hay fricción entre superficies de contacto y  $\mu=1$  significa que existe fricción máxima entre las superficies de contacto. (Sepúlveda, 2016).

Existen dos tipos de fricción:

- **Fuerza de fricción estática:** útil para iniciar el movimiento. Si la fuerza tangencial es menor a el valor de la fricción, no existe movimiento.
- **Fuerza de fricción cinética o dinámica:** necesaria para el movimiento se mantenga.

#### **4.2 Sistema de freno.**

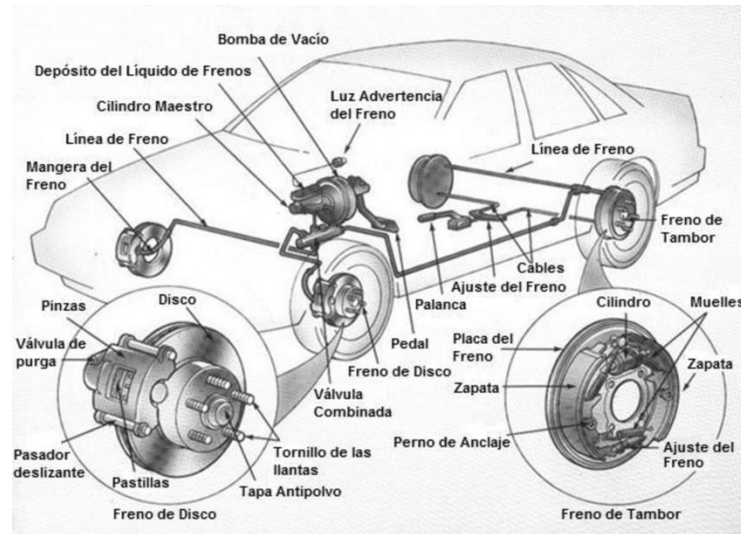
El sistema de frenos se aplica directamente en las ruedas del automóvil. Su funcionamiento se basa en la transformación de la energía cinética del vehículo debido a su velocidad, en energía calorífica al disminuir esta velocidad llegando incluso a detenerlo. Por hecho cuanto mayor sea la masa del vehículo, mayor será el trabajo de los frenos para reducir la energía cinética. (Sánchez Lorenzo, 2018,p.15).

#### **4.3 Elementos del sistema de frenos.**

Carpio menciona que, los componentes del sistema de frenos se accionan cuando la fuerza se transmite a través del pedal del freno, que es accionado por el conductor, y se transmite al cilindro maestro, lo que hace que el líquido de frenos se comprima en las tuberías del sistema. La fuerza aplicada al eje del cilindro maestro del freno depende de la geometría del pedal del freno y determinará el grado de frenado en el vehículo. (Águeda Casado et al., 2012,p.452).



**Figura 4.**  
*Elementos del sistema de frenos.*



*Nota.* En la fotografía se muestran los elementos que componen el sistema de frenos, por Gracia R., 2020, *researchgate*, [https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-Componentes-del-sistema-de-frenado\\_fig1\\_341175124](https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-Componentes-del-sistema-de-frenado_fig1_341175124).

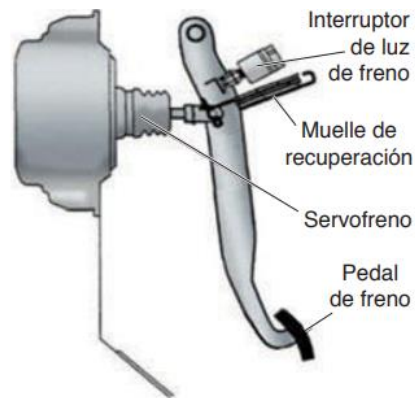
### **Pedal de freno.**

Este elemento se encarga de activar el sistema de frenado mediante un empujador sobre el cilindro principal o bomba de freno, además el pedal de freno volverá a su posición de reposo mediante un muelle fijado en la carrocería. Este incorporará un interruptor para accionar la luz de freno cuando se presione indicando la desaceleración del vehículo a los demás conductores. (José & Ferrer, 2012)

Otros autores han afirmado lo siguiente:

La relación mecánica de la palanca está comprendida entre 1:5 y 1:8. Con esta relación, la fuerza máxima aproximada que se puede realizar con los pies es de 800 N. En el circuito se puede llegar a generar una presión de unos 100 bar (José & Ferrer, 2012, pp 279).

**Figura 5**  
*Pedal del freno.*



*Nota:* Composición del pedal de freno. Tomado de Sistema de transmisión y frenado (p 279) por José & Ferrer, 2012

#### **4.3.1 Tambor y pastillas de freno.**

Este es usado generalmente en vehículos industriales o el eje secundario en carros livianos. Presenta una mayor área de contacto entre las zapatas y el tambor, sin embargo, el fenómeno fading es más recurrente en estos componentes. Los elementos del sistema son: (Águeda Casado et al., 2012)

- Tambor.
- Disco porta freno.
- Juego de zapatas.
- Sistema de ajuste automático.
- Actuador hidráulico.
- Muelles de recuperación.

## Figura 6

### Componentes del freno tambor.



*Nota:* Elementos que conforman el freno tambor. Tomado de Sistema de transmisión de fuerzas y trenes de rodaje (p 451) por Águeda Casado et al., 2012

### Los discos de freno.

Son la superficie en la cual actúan las pastillas para frenar el vehículo, ya que el disco gira de forma solidaria con las ruedas. El rozamiento entre el disco y la pastilla genera la transformación de energía cinética a energía calorífica, lo que produce la reducción de velocidad.(Borja et al., 2009, p.173).

Los discos de freno no solo deben transformar energía, deben liberar el calor producido hacia el ambiente lo más rápido posible ya que si las temperaturas son elevadas el sistema colapsa.(García-León & Flórez-Solano, 2017)

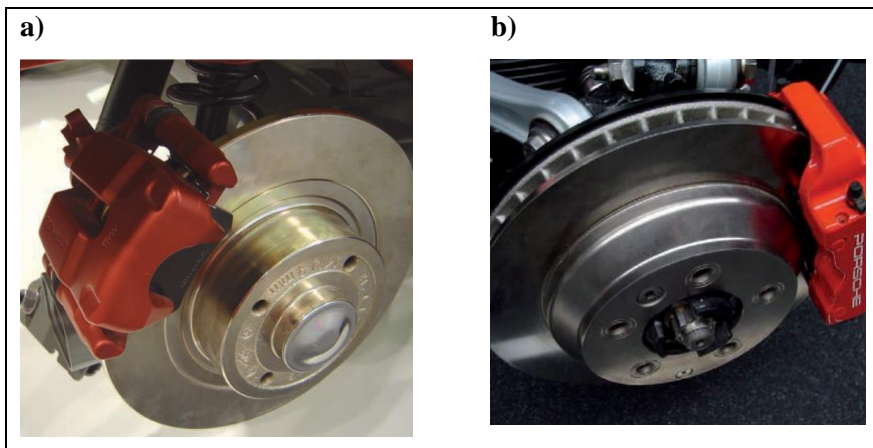
Existen dos tipos de discos de freno:

- Los discos no ventilados que son macizos.
- Los discos ventilados que disponen de orificios en su interior para disipar el calor.

Los discos no ventilados se sitúan normalmente en los ejes traseros y los ventilados en los ejes delanteros.

## Figura 7.

Disco ventilado y no ventilado



Nota: a) Disco no ventilado con su respectiva mordaza. b) Disco ventilado con su respectiva mordaza. Tomado de Sistema de transmisión y frenado (p.173), por Borja, J., 2009, Macmillan Iberia, S.A.

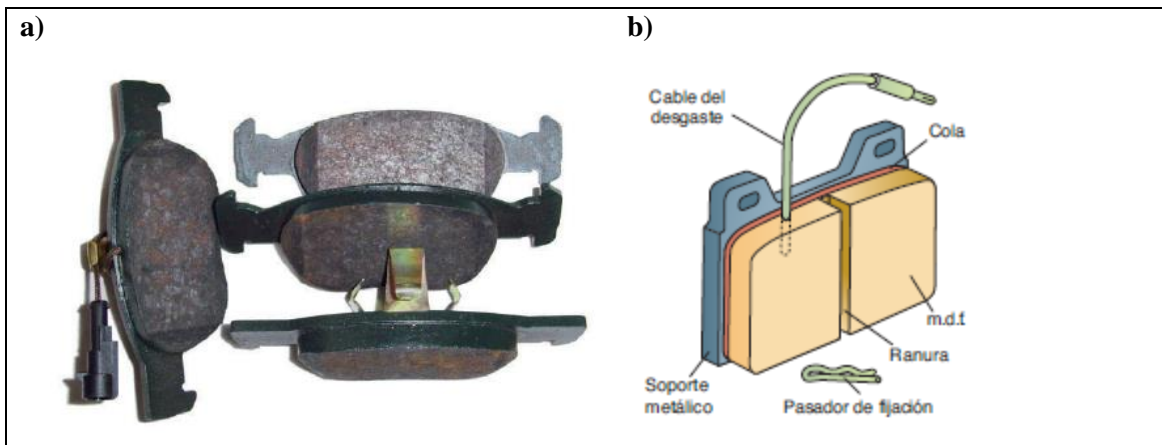
### Pastilla de Freno.

Las pastillas son los elementos de fricción del sistema, poseen de una composición de material parecida a los forros del disco embrague que tienen viruta metálica presente como objetivo proporcionar a la pastilla una alta rigidez mecánica; para la fabricación se utiliza amianto a fin de que proporcione una mayor disipación de calor y rigidez. Actualmente, se le acopla un cable que sirve como indicador de desgaste encendiendo una luz en el tablero de control cuando el cable roza con el disco de freno (Águeda Casado et al., 2012).

Estos elementos frenantes móviles deben cumplir ciertas cualidades para ser efectivas durante el funcionamiento, siendo:

- Estabilidad Térmica.
- Compresibilidad en frío y caliente del 2% y 5% respectivamente.
- Dilatación del material prácticamente nula.
- Resistencia al cizallamiento y golpe.
- Equilibrio entre resistencia a abrasión y desgaste.

**Figura 8**  
*Pastilla de freno.*



Nota: a) Juego de pastilla de freno. b) Constitución de la pastilla de freno. Tomado de *Sistema de transmisión y frenado* (p. 279), por José & Ferrer, 2012

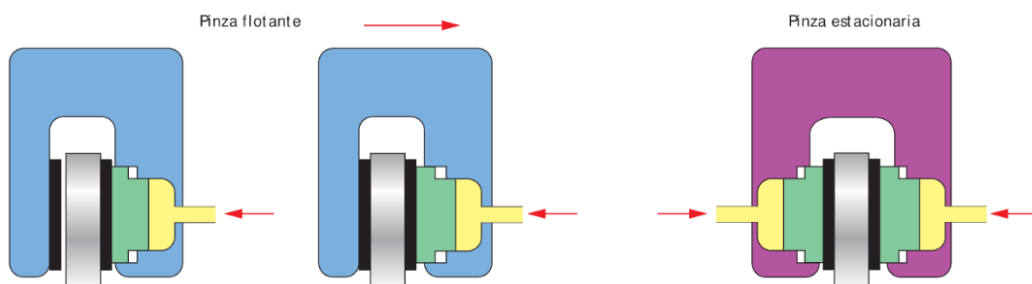
#### 4.3.2 Pinzas de freno.

Los discos de freno son accionados por las pinzas mediante pistones que empujan las pastillas causando la fricción con el disco, las mismas que van atornilladas al buje de la rueda.(Francisco et al., n.d.)

Existe dos tipos de pinzas de freno.

- **Pinzas flotantes:** disponen de un solo pistón de accionamiento, cuando el pistón recibe presión, el disco se presiona con la pastilla y esa fuerza arrastra la pinza la misma que el disco choca con la otra pastilla. Este tipo de elemento se utiliza en vehículos de turismo.(Borja et al., 2009)
- **Pinzas estacionarias o fijas:** posee dos pistones que se ubican a cada lado de la pinza. A realizar la frenada se accionan presionando las dos pastillas a la vez. El uso de estas dependerá del peso y potencia del vehículo. (Borja et al., 2009)

**Figura 9.**  
*Funcionamiento de las pinzas de freno.*



Nota: En la fotografía se ve las pinzas flotantes y estacionarias con su respectivo funcionamiento. Tomado de Sistema de transmisión y frenado (p.175), por Borja. J., 2009, Macmillan Iberia, S.A.

### 4.3.3 Bomba de freno.

Es la encargada de generar presión en el circuito hidráulico, cuando el conductor pisa el pedal de freno la fuerza de empuje se transforma en presión hidráulica, la eficiencia de trabajo es mejor en cuanto menor sea el diámetro del cilindro. Una bomba o cilindro maestro bien diseñada posee un recorrido suficiente para evitar que el trayecto del pedal llegué al fondo y la fuerza que se ejerce no superé los 800 N. (José & Ferrer, 2012)

### 4.3.4 Servo-asistencia.

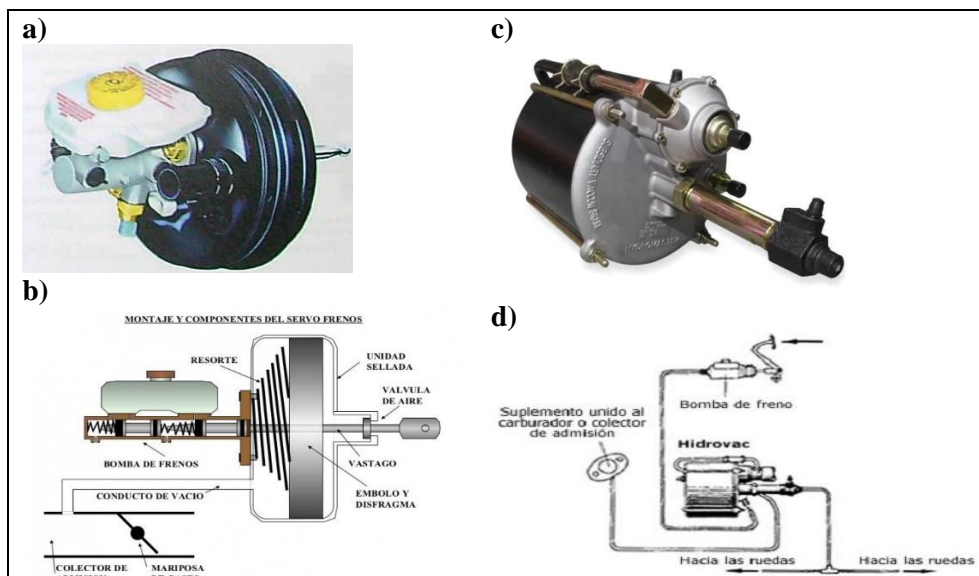
La servo-asistencia tiene la finalidad de multiplicar la fuerza ejercida sobre el pedal obteniendo una mayor presión de frenado, esta amplificación de fuerza puede llegar de 5:1 del mecanismo (Águeda Casado et al., 2012).

Existen diferentes tipos de servo-asistencia, pero los más importantes son:

- Sistema Mastervac
- Sistema Hidrovac

Este sistema debe existir una toma de vacío para el caso de vehículos livianos estos cuentan con un conducto en el servo freno, pero para vehículos pesados es necesario una bomba de vacío.

**Figura 10**  
*Servofreno Mastervac & Hidrovac*



*Nota:* a) y b) Posicionamiento del servofreno Mastervac con respecto a la bomba de freno y sus componentes en estado de reposo. c) y d) Conjunto servofreno Hidrovac y su esquema de posicionamiento. Tomado de Sistema de transmisión de fuerzas y trenes de rodaje (p 467-469) por Águeda Casado et al., 2012

#### 4.3.5 *Tuberías y latiguillo.*

##### **Tuberías**

Esto es un conducto cuyo interior circula el líquido de freno comunicando a cada elemento del sistema. Según Águeda Casado et al., 2012 "Las tuberías son metálicas y van sujetas con grapas a lo largo de todo su recorrido. Su diámetro interior está en función del caudal que debe fluir."

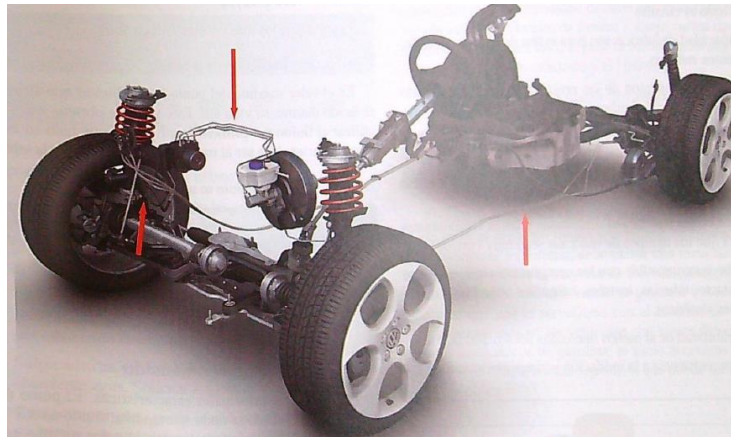
Los latiguillos son de caucho y según Acero & Calderón, 2019, se utilizan como unión entre la mangueta, donde la pinza de freno, disco y neumático están sujetos oscilando con los movimientos de la suspensión.

La principal característica del elemento es:

- Soportar los niveles de presión hasta de 100 bares.
- Transportar el líquido de freno a los demás componentes del sistema.
- Zonas de goma en lugares de mayo exigencia en flexibilidad y movilidad.
- Fabricadas de Neopreno con trenzado de acero.

##### **Figura 11**

*Tuberías y latiguillos del sistema de frenado.*



*Nota:* Las flechas señalan las ubicaciones de tuberías y latiguillos en el chasis de un vehículo. Tomado de Sistema de transmisión de fuerzas y trenes de rodaje (p 465) por Águeda Casado et al., 2012

#### 4.3.6 *Freno de estacionamiento.*

El freno de mano o también llamado de estacionamiento sirve para activar los elementos frenantes del vehículo durante su parada. Debe ser capaz de inmovilizar el

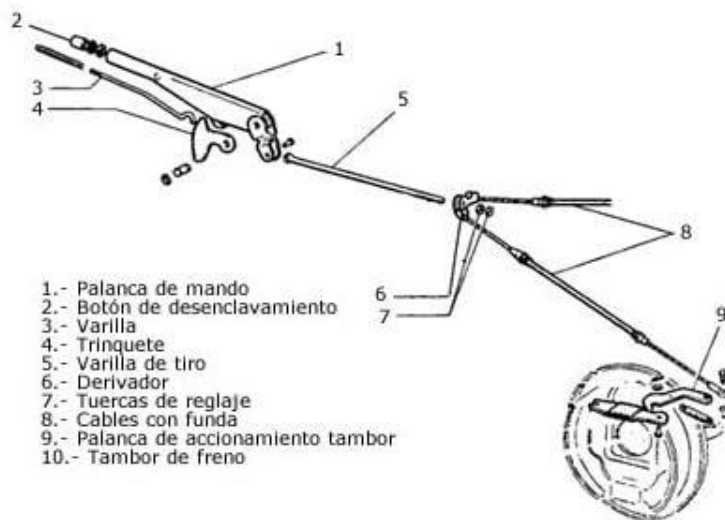
vehículo durante pendientes descendentes y ascendentes mayores a 18%, pero para freno de servicio no es muy eficaz. (Águeda Casado et al., 2012)

#### 4.3.6.1 Sistema de accionamiento mecánico

Su funcionamiento se basa en una palanca o pedal que al movimiento tensa un cable el cual actúa sobre las pastillas o zapatas chocando contra el disco o tambor produciendo el bloqueo. Pueden llevar un tensor mecánico o automático que sirven para regular la aproximación de los elementos frenantes de acuerdo a que se produce el desgaste. (Águeda Casado et al., 2012)

**Figura12**

**Freno de estacionamiento.**



Despiece de un freno de mano

*Nota.* En la fotografía se muestran los elementos que componen el freno de estacionamiento, por *Autor*, 2015, Prueba de ruta.com, <https://www.pruebaderruta.com/freno-de-estacionamiento.php>.

#### 4.4 Geometría de estudio del disco.

Se estudiará la mejor alternativa de diseño en la superficie del disco de freno para su ventilación, analizando el mercado existen distintas combinaciones de materiales, para selección de geometrías similares o como mínimo los mismos componentes.(Sánchez Lorenzo, 2018)

##### 4.4.1 Disco de freno perforados.

Se fabrican de hierro fundido y se caracterizan por poseer unas perforaciones en las pistas, lo que disminuye su peso y evitan una difusión cuando se produzca una fisura en caso de sobrecalentamiento. Sus canales permiten una mejor refrigeración entre el disco y pastilla , otra misión es mantener limpia la superficie del disco de ferodo



generadas por el desgaste de las pastillas y disco. Utiliza mordazas fijas de aluminio para su sujeción que interviene en el retardo de calentamiento del líquido de frenos. (Sánchez Lorenzo, 2018)

**Figura13.**

*Disco de freno perforado.*



*Nota:* En la figura se ve un ejemplar de un disco perforado. Tomado de Propuesta de diseño para disco de freno ventilado. p (20) por (Sánchez Lorenzo, 2018)

**4.4.2 Disco de freno estriado o ranurado.**

En lugar de llevar perforaciones en estos discos se labran ranuras en diferentes direcciones que no perjudica la dirección de giro del disco para la disipación de calor. Este tipo de disco permite una frenada más efectiva, por lo tanto, son más utilizados en autos de rally, además mejoran la capacidad de frenada en un 30% a comparación de los discos normales en condiciones meteorológicas adversas, igual que los discos perforados se construyen con fundición de hierro y sujetos por pinzas de aluminio (Sánchez Lorenzo, 2018)

**Figura 14.**

*Disco de freno ranurado o estriado.*



*Nota.* En la figura se ve un ejemplar de un disco de freno de tipo estriado o ranurado. Tomado de Propuesta de diseño para disco de freno ventilado. p (20) por (Sánchez Lorenzo, 2018)

#### **4.4.3 Disco de freno perforado & rayado.**

Hoy en día podemos encontrar la combinación de diseños de rayados y perforados, la superficie del disco se perfora beneficiando que la forma quede integra la misma que proporciona un desfogue de los gases y residuos de las pastillas, su peso es ligero y su superficie de fricción este entre un 80 y 91 %. (AUTOMCION.COM,2018 como se citó en Acero & Calderón, 2019)

#### **Figura 15.**

*Disco de freno perforado y rayado.*



*Nota.* En la figura se observa un disco de freno combinado entre perforado y rayado. Tomado de Propuesta de diseño para disco de freno ventilado. p (20) por (Sánchez Lorenzo, 2018)

#### **4.4.4 Estructura.**

##### **4.4.4.1 Pista de frenado.**

Según Sánchez Lorenzo “Las pistas de frenado serán las caras de contacto de las pastillas de freno con el disco. Como se ha dicho, es fundamental el paralelismo entre ellas, para un juego óptimo y simétrico entre las pastillas y las dos caras del disco.”

##### **4.4.4.2 Campana del disco.**

La campana se apoya sobre el buje de la parte interior y el exterior sobre la llanta. En virtud a esto el mecanizado en su cara superior es un parámetro importante al momento del montaje, en algunos casos se utiliza la parte interior para colocar un sistema de frenos de tambor pequeño para ser utilizado como freno de estacionamiento.(Sánchez Lorenzo, 2018)

##### **4.4.4.3 Fijación.**

Los orificios de montaje están ubicados en la misma superficie. Tendrá uno o dos agujeros para controlar la posición del buje, que se ajustará mediante tornillos Torx con el par especificado por el fabricante. También tiene otros agujeros, normalmente 5 o 7, por los que pasan los tornillos de anclaje fijados a la llanta.(Sánchez Lorenzo, 2018)

#### *4.4.4.4 Canal de refrigeración / Filtro térmico.*

Es un canal mecanizado que regula el calor entre las pistas y campana, el mismo consigue que la superficie no sea continua y exista un salto en la transmisión de calor en las zonas, la disminución de superficie continua hace que el gradiente térmico aumente lo que logra una reducción de temperatura entre los canales y la disminución de la campana.(Sánchez Lorenzo, 2018)

### **4.5 Material del disco de Freno.**

Para la selección del material hay que tener en cuenta características principales que exige el disco de freno, como la resistencia mecánica, conductividad térmica, resistencia al desgaste y poseer un coeficiente de rozamiento alto.

Existen 3 tipos de materiales para clasificar los discos de freno en el mercado actual.

- **Carbocerámicos:** Su composición es de carburo de silicio, extraído a través de fibras de Poliacrilonitrilo y resinas fenólicas, pirolizadas y pactadas con vapor de silicio. Garantiza una durabilidad hasta los 300.000 km y con un peso entre de 5-6 kg. (Sánchez Lorenzo, 2018)
- **Co-moldeados y bilaterales:** Compuestos de fundición de hierro y de aluminio en la campana en el cuerpo del rotor, su durabilidad oscila entre 60.000 - 80.000 km con un peso alrededor de los 10 kg. (Sánchez Lorenzo, 2018)
- **Fundición de hierro:** Poseen diversos elementos (Ni, Cr, Mb, Cu, Ti) y un alto nivel de carbono (HC), con el objetivó de proveer una lata resistencia mecánica y conductividad térmica. Su vida útil esta entre los 60.000 a 80.000 km, con un peso de 12 a 14 kg. (Sánchez Lorenzo, 2018)

#### **4.5.1 Composición básica**

El material más utilizado para la fabricación de los discos de freno en la fundición gris modular de grafito laminar, puesto que garantiza estabilidad de las prestaciones a lo largo de su vida útil. La composición básica es de un 92 a 93 % de hierro, también contiene silicio, manganeso, carbono y otros materiales en

menos cantidad. La suma de carbono influye con los siguiente: (Acero & Calderón, 2019)

- Mejor desempeño del sistema y mayor seguridad de frenado.
- Mayor resistencia a la deformación.
- Alta resistencia a la aparición de fisuras por el sobrecalentamiento.
- Reducción de ruidos.
- Disminuye la posibilidad de vibraciones.
- Optimiza la conductividad térmica.

#### **4.6 Problemas presentes en disco-pastillas de freno a altas temperaturas.**

Los siguientes autores afirman lo siguiente:

En el sistema de frenos encontraremos una relación paralela entre el incremento de la temperatura de sus componentes en base al intervalo de uso que se le dé al sistema, las altas temperatura en los discos, pastillas de freno, tambores y zapatas siempre estarán presentes pues la fricción existente entre ellos cuando utilizamos el sistema provocara un acelerado incremento de la temperatura. (Acero & Calderón, 2019, p 49)

Al sobrepasarse el límite de temperatura se perderán gran parte de las propiedades de los elementos frenantes provocando ineficiencia en el sistema que a su vez significar mayor distancia recorrido para la detención total del vehículo. (Velásquez & Heras, 2012)

##### ***4.6.1 Factores determinantes en la eficiencia del sistema de frenado.***

Los principales factores que determinan la eficiencia del sistema de frenado son los siguientes (Borja et al., 2009):

- Desgaste de los elementos de fricción.
- Perdida de líquido de frenos en el circuito hidráulico.
- Perdida o mal estado de las características en el líquido de frenos.
- Mal funcionamiento de la bomba hidráulico o del servofreno.
- Mal estado de los neumáticos.

- Defecto de funcionamiento del compensador de frenada para el eje trasero.
- Mal funcionamiento del sistema de suspensión del vehículo.

#### **4.6.2 Fading.**

El fading es la existencia de pérdida de eficiencia en el sistema de frenado cuando aumenta la temperatura en los elementos de fricción. Se presenta una variación en los coeficientes de los elementos de fricción debido a la temperatura, si la temperatura empieza a disminuir el coeficiente desciende, el resultante de este proceso es el fading.(Velásquez & Heras, 2012)

#### **4.6.3 Judder.**

Se presenta con vibraciones en el sistema de frenos, en la mayoría de casos con ruidos de baja frecuencia , el cual es notorio por el conductor cuando tiene conocimiento del funcionamiento del automóvil.(Velásquez & Heras, 2012)

##### **4.6.3.1 Cold Judder.**

Son defectos de mecanizado que provoca vibraciones como también problemas en el montaje, produciendo una deformación del disco. Pueden ser notables en el volante o frenos.(Velásquez & Heras, 2012)

#### **Figura16.**

*Cold Judder.*



*Nota.* En la figura se puede ver dentro del círculo rojo una mancha producida por el efecto Judder. Tomado de “Diseño, construcción e implementación de un sistema de ventilación para los discos de freno de un vehículo y sistema de control de temperatura” (p.22), por *Velásquez & Heras, 2012*

#### 4.6.3.2 Hot Judder.

Según los autores (Velásquez & Heras, 2012) en este tipo de efecto se producen manchas de coloración oscura en la superficie del disco y vibraciones que se manifiestan cuando a la temperatura del sistema se eleva entre los 500 °C.

#### 4.6.1 Calentamiento excesivo del disco.

Calentamiento excesivo del disco de freno ocasionan un endurecimiento del material, y se manifiesta con colores vivos en la gama de los azules, que se observa en la unión de la superficie y la campana del disco. La zona del disco es el cementita (Fe<sub>3</sub>C), es provocado por una variación del material, el cementita es desfavorable para el sistema de freno, las zonas donde se forman cementita presentan un coeficiente de rozamiento diferente al resto de la superficie, además en estas zonas se acumulan tensiones térmicas, que provocan la aparición de grietas. (Acero & Calderón, 2019, p 56)

#### Figura 17

*Calentamiento del disco de freno.*



*Nota:* Disco de freno sometido a un trabajo repetitivo de frenado por tiempos prolongados. Tomado de Rediseño de un disco de frenos normal a ventilado mediante mecanizado para la comparación de la eficiencia con otro disco convencional (p 52) por Acero & Calderón, 2019

#### 4.6.2 Desgastes prematuros.

El desgaste prematuro en los discos está relacionado con el recalentamiento del sistema de freno o por la implementación de materiales de baja calidad en las pastillas, llegando a temperaturas superiores de 450 °C por abuso excesivas/prolongados de los frenos provocando adherencia entre el disco y pastilla de freno ocurriendo desgastes irregulares. (Acero & Calderón, 2019, p 52)

Otro autor menciona que otro factor de desgaste son los bujes de la mordaza al no tener las presiones distribuidas equitativamente presionando la pastilla desigualmente, ocasionando el desgaste asimétrico o incremento de temperatura en el disco de freno. (Velásquez & Heras, 2012, p 38)

## Figura 18

*Desgaste prematuro en el disco de freno.*



*Nota:* Desgaste del disco de freno producto de diferentes presiones en la mordaza. Tomado de rediseño de un disco de frenos normal a ventilado mediante mecanizado para la comparación de la eficiencia con otro disco convencional (p 53) por *Acero & Calderón, 2019*.

### 4.7 Ecuaciones del frenado.

#### 4.7.1 Ecuación fundamental del frenado.

Esta es la suma de las fuerzas que intervienen en el proceso de freno, siendo:

- Resistencia a la rodadura.
- Resistencia aerodinámica.
- Efecto pendiente.
- Fuerza de frenado.

Expresando así la siguiente ecuación (Luque Rodríguez et al., 2004):

$$F_r + F_{xa} + F_g + F_f = m \times a$$

$$f_r \times P + \frac{1}{2} \rho \times C_x \times A_f \times V^2 + P \times \sin \theta + F_f = m \times a$$

Siendo:

- $f_r$  : Coeficiente de resistencia a la rodadura
- $P$  : Peso del vehicular
- $\rho$  : Densidad del aire
- $C_x$  : Coeficiente aerodinámico al avance
- $A_f$  : Área frontal del vehículo
- $V^2$  : Velocidad de circulación
- $F_f$  : Fuerza de frenado que se genera en el suelo
- $m$  : Masa del vehículo
- $a$  : Aceleración del vehículo

#### 4.7.2 Distancia de frenado.

Según Luque Rodríguez et al., (2004) determinar la distancia de desaceleración es función a la fuerza que intervienen en el frenado y está determinado por la desaceleración real con la que circula el vehículo, esto se puede expresar de la siguiente manera:

$$a = \frac{f_r \times P + \frac{1}{2} \rho \times C_x \times A_f \times V^2 + P \times \sin \theta + F_f}{m}$$

Conociendo la desaceleración del vehículo, suponiendo que la resistencia a la rodadura es independiente a la velocidad y que la velocidad final es la detención del vehículo, se tiene la distancia de recorrido:

$$S_{V_1-0} = \frac{m}{\rho \times C_x \times A_f} \ln \left( 1 + \frac{\frac{1}{2} \rho \times C_x \times A_f \times V_1^2}{F_f + P \times \sin \theta + f_r \times P} \right)$$

Siendo:

$S_{V_1-0}$  : Espacio recorrido desde una velocidad inicial hasta el estado de reposo

#### 4.7.3 Tiempo de frenado

Conociendo la desaceleración, Criado Ocaña, 2012, propone la siguiente ecuación para obtener el tiempo de recorrido entre dos velocidades:

$$t_{V_1-V_2} = \int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{a} = -m \int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{f_r \times P + \frac{1}{2} \rho \times C_x \times A_f \times V^2 + P \times \sin \theta + F_f}$$

Siendo:

$t_{V_1-V_2}$  : Tiempo de frenado entre dos velocidades

El mismo autor menciona que al despreciar la resistencia aerodinámica y estimar el tiempo hasta la detención total la integral se simplifica permitiendo estimar el tiempo de parada a partir de una velocidad inicial:

$$t_{V_1-0} = m \times \frac{V_1}{f_r \times P + P \times \sin \theta + F_f}$$

Siendo:

$t_{V_1-0}$  : Tiempo de frenado desde una velocidad inicial al reposo



#### 4.7.4 Eficacia o rendimiento de frenado.

Jiménez Escobar & Medina Gonzáles afirman que, los vehículos actuales no son capaces de aprovechar su adherencia causando la acción de frenar con una desaceleración menor. La cuantificación de esto se lo conoce como rendimiento de frenado y se expresa de la siguiente manera (Luque Rodríguez et al., 2004):

$$\eta_f = \frac{a_{real}}{a_{m\acute{a}x}}$$

Siendo:

- $\eta_f$  : Rendimiento del frenado
- $a_{real}$  : Aceleración real
- $a_{m\acute{a}x}$  : Aceleración máxima

Luque Rodríguez et al., (2004) afirma que, al despreciar las fuerzas resistivas y aceleradoras de la ecuación fundamental de frenado y la relación del peso del vehículo con la fuerza de frenado, hallando la desaceleración máxima y por consiguiente la adherencia máxima dando otra alternativa de expresar la ecuación de rendimiento de frenado.

$$\left. \begin{array}{l} F_{fmax} = \mu_{max} \times P \\ F_{fmax} = \frac{P}{g} \times a_{max} \end{array} \right\} \Rightarrow \frac{a_{max}}{g} = \mu_{max} \therefore \eta_f = \frac{a/g}{\mu_{max}} = \frac{\mu_{utilizada}}{\mu_{max}}$$

Siendo:

- $F_{fmax}$  : Fuerza de frenado máxima.
- $\mu$  : Coeficiente de adherencia entre el neumático y calzada
- $g$  : Gravedad.

El rendimiento de frenado representa el aprovechamiento disponible y siempre se busca que sea lo mayor posible siendo en vehículos de turismos un 70% aproximado con sistema de frenado convencional y entre 80% a 90% con sistema de frenos ABS. (José & Ferrer, 2012).

#### 4.7.5 Análisis térmico de los frenos.

En el transcurso del frenado, el disco de freno y pastillas de freno reciben energía térmica producto del movimiento del vehículo (Trujillo et al., 2011). Este calor es efecto del rozamiento entre los elementos frenantes generados en la superficie (Acero & Calderón, 2019). El elemento que almacena gran parte de este calor es el disco del

freno, aproximadamente 98%, mientras que el efecto de la radiación y convección ayuda a disipar el calor restante en el aire circundante (Luque Rodríguez et al., 2004).

#### 4.7.5.1 Disipación de energía del disco de freno

Domingo afirma que, si consideramos al disco y pastilla de frenado como elementos mecánicos que se deslizan uno con otro a una velocidad relativa al área de contacto, su índice de energía disipada producida por el contacto está determinado por la fricción y velocidad relativa de los componentes. Asumiendo que la totalidad de energía se disipa en calor, en la superficie de contacto real, entonces el calor total generado este dado por (Luque Rodríguez et al., 2004):

$$Q_T = \mu \times p \times V_p$$

Donde:

$Q_T$  = Calor que absorbe el disco de freno  $[W/m^2]$

$\mu$  = Factor de rozamiento entre las pastillas y disco de freno [adimensional]

$p$  = Presión ejercida

$V_p$  = Velocidad inicial de disco de frenos.

#### 4.7.5.2 Energía disipada en el frenado.

Acero & Calderón, (2019) afirma que la energía calorífica, producida durante la desaceleración del automotor, disipada durante el frenado es la siguiente:

$$E_f = \frac{i \times m(V_i^2 - V_f^2)}{2}$$

Donde:

$E_f$  = Energía disipada durante el frenado. [J]

$i$  = Factor de corrección para masas rodantes, para vehículos livianos [1.05 ≤

$i$  ≤ 1.50]

$m$  = Masa del vehículo [kg]

$V_i$  = Velocidad inicial del frenado. [ $m/s$ ]

$V_f$  = Velocidad final de frenado. [ $m/s$ ]

En condiciones dinámicas el eje delantero soporta el 75% de carga, donde usualmente está instalado el sistema de disco-pastilla de freno. Por lo tanto, el calor que se disipa  $E_d$  es: (Luque Rodríguez et al., 2004, p 426)

$$E_d = E_f \times 0.75$$

Según Acero & Calderón, (2019) “Alrededor del 90% del calor producido durante el frenado es acumulado por el disco, y el 10% es acumulado por las pastillas, la energía que disipa la pastilla ( $E_p$ ) y el disco ( $E_{d1}$ ) son.”

$$E_{d1} = E_d \times 0.9$$

$$E_p = E_d \times 0.1$$

En el eje delantero del vehículo posee un par de disco de frenos unidos a él, absorbiendo la mitad de la energía (E): (Acero & Calderón, 2019, p. 43)

$$E = E_{d1}/2$$

#### 4.7.5.3 Temperatura entre dos cuerpos.

Acero & Calderón, (2019) considera el deslizamiento de un cuerpo sobre a otro a una velocidad relativa, para determinar la temperatura de roce con la ecuación de conducción térmica de Fourier en estado sólido, estableciendo las relaciones funcionales entre la variación térmica espacial en un punto del cuerpo y el tiempo que lo define. La ecuación es determinada con la ayuda de la conservación de la energía: (Carranza Sánchez & Alberto Pulido, 2003)

$$\nabla^2 T = \frac{1}{k} \frac{dT}{dt} \text{ o } \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = \frac{1}{k} \frac{\partial T}{\partial t}$$

Siendo  $k$ :

$$k = \frac{\lambda}{P \times C}$$

$K =$  Difusividad térmica.  $[m^2/s]$

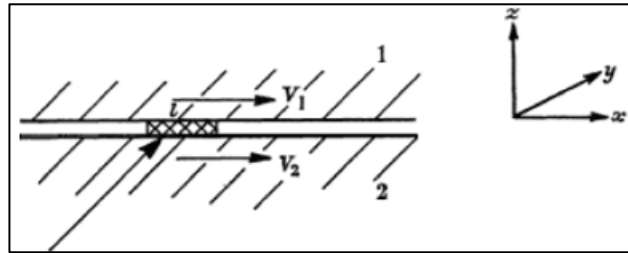
$\lambda =$  Conductividad térmica  $[W/mK]$

$P =$  Peso específico.  $[Kg/m^3]$

$C =$  Calor específico  $[m^2/s^2K]$

**Figura 19**

*Deslizamiento de dos cuerpos.*



*Nota:* Energía calorífica producida al desplazamiento entre dos cuerpos a una velocidad relativa. Tomado de Rediseño de un Disco de Frenos Normal a Ventilado mediante mecanizado para la comparación de la eficiencia con otro disco convencional (p. 44) por *Acero & Calderón, 2019*

El autor *Acero & Calderón, (2019)* “El concepto más importante es el movimiento relativo que se genera entre la fuente de calor y el cuerpo.” Ya sea este de un cuerpo estacionario y calor en movimiento o viceversa. Considerando su movimiento a una velocidad “ $V_p$ ” en una dirección “ $x$ ” se encontrará el calor que absorbe el disco de freno “ $q_{total}$ ”; para conocer diferencia de temperatura generada a partir de la frenada es: (*Carranza Sanchez & Alberto Pulido, 2003, p. 78*)

$$\Delta T = \int_{-b}^b \frac{q_{total}}{\pi \times \lambda} e^{\frac{V_p(x-x')}{2k}} \times K_0 \left\{ \frac{V_p}{2k} [(x - x')^2 + z^2]^{1/2} \right\} dx'$$

Donde:

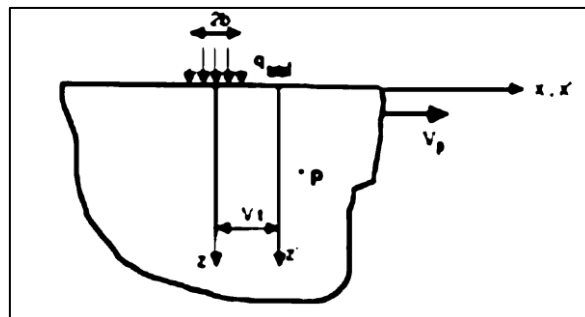
$\Delta T$  = Diferencia de temperatura generada durante la frenada. [K]

$q_{total}$  = Calor que absorbe el disco de freno. [W/m<sup>2</sup>]

$K_0$  = Función modificada de Beseel, de segunda clase y orden cero, para un estado térmico cuasi – estacionario ( $t \rightarrow \infty$ ).

**Figura 20**

*Carga de calor.*



*Nota:* Carga de calor producida sobre un cuerpo a una velocidad y dirección. Tomado de Transferencia de Calor de Estado Inestable en Forros de Frenos (p. 79), por *Carranza Sanchez & Alberto Pulido, 2003*

El resultado de la variación de temperatura depende directamente del número adimensional Peclet, “pe”(Carranza Sanchez & Alberto Pulido, 2003). Por otra parte, Acero & Calderón, (2019) menciona que el aumento de la temperatura superficial, causados por la fricción entre los cuerpos de dimensiones 2b que se desliza con una velocidad:

$$\Delta T = T \left( \frac{\pi \times \lambda \times V_p}{2k \times q_{total}} \right)$$

Donde:

$T =$  Factor de temperatura.

$K =$  Difusividad térmica.  $[m^2/s]$

$\lambda =$  Conductividad térmica  $[W/mK]$

$V_p =$  Velocidad inicial del disco de freno.  $[m/s]$

El número de Peclet se lo obtiene de la siguiente manera:

$$Pe = \frac{V_p \times b}{2 \times k}$$

Donde:

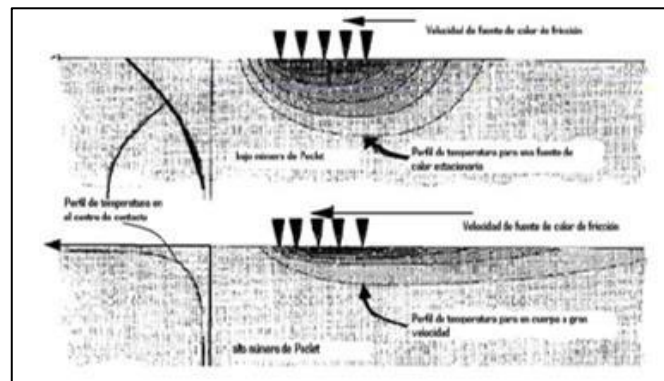
$b =$  Mitad de la longitud de la pastilla de freno.  $[m]$

Según Carranza Sanchez & Alberto Pulido, (2003) El calor máximo generado es inversamente proporcional a la velocidad del cuerpo, debido al traspaso térmico a un cuerpo en movimiento. El numero Peclet aumenta, es decir,  $Pe \geq 10$  la temperatura máxima va ocurrir en la parte trasera del arrastre. Este aumento de temperatura dará a lugar cuando  $x = b$ , dada por la siguiente expresión.

$$\Delta T_{max} = \frac{2q_{total} \times b}{\lambda \sqrt{\pi \times pe}}$$

## Figura 21

*Distribución de temperatura.*



*Nota:* Distribución de temperatura de un cuerpo móvil según el número de Peclet. Tomado de *Transferencia de Calor de Estado Inestable en Forros para Frenos* (pp. 78-79) por Carranza Sanchez & Alberto Pulido, (2003)

### 4.7.5.4 Disipación de calor en el disco de freno

El proceso del frenado al ser sujeto por condiciones dinámicas en el funcionamiento produce energía calorífica resultado rozamiento entre los elementos frenantes. La disipación de calor se presenta de tres formas conocidas conducción, convección y radiación, excluyendo este último por efecto de cálculo. La termodinámica es una forma de energía de tránsito, que se manifiesta debido a la diferencia de temperaturas. (Incropera & DeWitt, 1999, p. 3)

### 4.7.5.5 Transferencia de calor producida por conducción.

La transferencia de calor ocurre a por medio de diferencia de temperatura entre dos o más elementos, este puede ser en sólido, líquido y/o gaseoso (ACERO IVÁN & CALDERON EDWIN, 2019). Otros autores mencionan que “La conducción se considera como la transferencia de energía de las partículas más energéticas a las menos energéticas de una sustancia debido a las interacciones entre las mismas” (Incropera & DeWitt, 1999, p. 3)

### 4.7.5.6 Transferencia de calor producida por convección.

Acero & Calderón, (2019) menciona que esta transferencia ocurre entre una superficie y fluido en movimiento como resultado de la diferencia de temperatura. La convección se compone de dos mecanismos la difusión (movimiento molecular aleatorio) y macroscópico (movimiento global), siendo este último asociado con el movimiento molecular colectivo presentado en gradientes de temperatura. (Incropera & DeWitt, 1999)

## 4.8 Normativa.

### 4.8.1 Normativa técnica ecuatoriana NTE INEN 2 349:2003.

Esta norma establece los procedimientos para la realización de la revisión técnica vehicular obligatoria, se aplica en centros de revisión vehículo y control vehicular.

#### 4.8.1.1 Equipamiento.

##### 4.8.1.1.1 Banco de pruebas para frenos.

El banco de pruebas permite medir la eficiencia total de frenado en porcentaje en el freno de servicio y parqueo, el desequilibrio dinámico de frenado entre las ruedas del mismo eje en porcentaje, ovalización de tambores de freno, pandeo de discos de freno y fuerza de frenado en cada rueda en daN , inclusive pruebas del sistema de antibloqueo ABS.(INEN, 2003)

El equipo deberá cumplir con algunas características técnicas.

**Tabla 1.**  
*Parámetro y requerimientos de frenómetro.*

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

*Nota:* En esta tabla se indican las características generales que debe cumplir el frenómetros(p 36) por NTE INEN 2349,2003.

#### 4.8.1.2 Frenómetro.

Su trabajo es verificar la eficacia de los distintos sistemas de frenado de que dispone el vehículo como, el freno de estacionamiento, el freno de servicio o ABS(José & Ferrer, 2012).

Consta de los siguientes componentes:

- Sistema informático.
- Motores eléctricos.

- Un par de rodillos por rueda comprobada.
- Un rodillo de base o sustentación.

#### 4.8.1.2.1 Principio de funcionamiento de un frenómetro.

Se principio de funcionamiento es medir la resistencia que brindan los neumáticos a la puesta en marcha impulsado por los rodillos, que se produce por el frenado; Los rodillos están dispuestos paralelamente y sobre ellos se asientan las ruedas del vehículo, entre ellos existe otro llamado rodillo base el cual es el encargado de sustentar y centrar la rueda mientras los otros giran, por otro lado la comprobación de la eficiencia de los frenos sobre el frenómetro se ejecuta en las ruedas de un mismo eje, mientras que el eje no comprobando estará estático sobre el suelo.(Borja et al., 2009)

#### 4.8.2 NTE INEN 2710 Vehículos automotores. Sistema de frenado para vehículos de categoría M,N y O. Requisitos y métodos de ensayo.

Esta norma aplica para vehículos M2, M3, N Y O con relación a su sistema de frenado.

**Tabla 1.**

Rendimiento de los sistemas de frenado de vehículos de las categorías M2, M3 Y N.

Descripción	Categoría	M <sub>2</sub>	M <sub>3</sub>	N <sub>1</sub>	N <sub>2</sub>	N <sub>3</sub>
	Tipo de ensayo	0-1	0-1-II o IIA	0-1	0-1	0-1-II
Ensayo de tipo 0 con el motor desembragado	$v$	60 km/h	60 km/h	80 km/h	60 km/h	60 km/h
	$s \leq$ $d_m \geq$			$0.15 v + \frac{v^2}{5.0 m/s^2}$		
Ensayo de tipo 0 con el motor embragado	$v = 0.80$ $v_{max}$ pero no mas de	100 km/h	90 km/h	120 km/h	100 km/h	90 km/h
	$s \leq$ $d_m \geq$			$0.15 v + \frac{v^2}{4.0 m/s^2}$		
	$F \leq$			70 daN		

Nota. El grafico representa los valores recomendados para los diferentes ensayos en frenos(p 36) por NTE INEN 2710,2013.

donde:

$V$  = velocidad de ensayo prescrita, en km/h

$s$  = distancia de frenado, en metros

$d_m$  = desaceleración media estabilizada, en  $m/s^2$

$F$  =fuerza ejercida sobre el pedal, en daN



$V_{max}$  velocidad máxima del vehículo, en  $km/h$

#### 4.8.2.1 Ensayo con dinamómetro en calzada rodante.

En el caso de ensayo de banco las condiciones serán las siguientes.

**Tabla 2.**

*Condiciones de dinamómetro en calzada rodante.*

Numero de aplicaciones del freno	20
Duración del ciclo de frenado ( tiempo de 25 s 60s y tiempo de recuperación de 35 s)	
Velocidad de ensayo	30 km/h
Coefficiente de frenado	0.06
Resistencia a la rodadura	0.01

*Nota.* En esta tabla se indican las condiciones de un dinámetro de calzada rodante (p. 83) por NTE INEN 2710,2013.

##### 4.8.2.1.1 Ensayo de tipo 0 (ensayo del rendimiento ordinario con los frenos fríos)

Según INEN, 2013, los frenos deben estar fríos, se considera que están en frío cuando la temperatura del disco o en el exterior del tambor es inferior a 100 °C.

##### 4.8.2.1.2 Ensayo de tipo 0 con el motor embragado.

Según INEN, 2013, los ensayos se realizarán a varias velocidades, la más baja equivale al 30 % de la velocidad máxima del vehículo y la más alta equivalente al 80 % de la misma.

##### 4.8.2.1.3 Ensayo de tipo I (ensayo de pérdida de eficiencia).

En todos los vehículos con motor deberán ensayarse aplicando y soltando los frenos varias veces, con el vehículo cargado, con las condiciones indicadas.(INEN, 2013)

**Tabla 3.**  
Condiciones para ensayo tipo I.

Categoría de vehículos	Condiciones			
	$v_1$ [km/h]	$v_2$ [km/h]	$\Delta t$ [s]	n
$M_2$	80% $v_{max}$ $\leq 100$	$1/2 v_1$	55	15
$N_1$	80% $v_{max}$ $\leq 120$	$1/2 v_1$	55	15
$M_3, N_2, N_3$	80% $v_{max}$ $\leq 60$	$1/2 v_1$	60	20

Nota. Se indican las condiciones para realizar el ensayo con frenado repetitivo (p 31) por NTE INEN 2710, 2013.

donde:

$V_1$  = velocidad inicial, al comenzar a frenar.

$V_2$  = velocidad al dejar de frenar.

$V_{max}$  = velocidad máxima del vehículo.

$n$  = número de aplicaciones de los frenos.

$\Delta t$  =duración del ciclo de frenado: tiempo transcurrido desde el inicio de una aplicación de los frenos hasta la siguiente.

#### 4.9 Diseño de experimentos.

En un diseño de experimentos se aplica un método científico con el fin de generar cognición de cierto sistema o proceso, a través de evaluaciones planificadas, conforme han pasado los años se han fortalecido con técnicas ingenieriles y estadísticas; que permiten comprender con más perfección la relaciones causa- efectos.(Gutiérrez & de la Vara, n.d.)

##### 4.9.1 Experimento.

Es cuando se realiza un cambio de las condiciones de operación de un proceso o sistema, con el objetivo de mensurar el efecto en las propiedades del producto o resultado. Por otra parte, un experimento permite profundizar el comportamiento del sistema.(Gutiérrez & de la Vara, n.d.)

## **4.9.2 Variables, factores y niveles.**

### *4.9.2.1 Variable(s) de respuesta.*

La(s) variable(s) dan a conocer los resultados o efectos de las pruebas experimentadas, lo cual pueden ser características de desempeño o calidad de un proceso y/o producto.(Gutiérrez & de la Vara, n.d.)

### *4.9.2.2 Factores controlables.*

Estas son variables de proceso o propiedades del material de prueba que se pueden establecer en un cierto nivel. Algunas de estas suelen gestionarse durante el funcionamiento normal del proceso y se diferencian en que para cada una de ellas existe una forma o mecanismo para cambiar o manipular el nivel de su trabajo.(Gutiérrez & de la Vara, n.d.)

### *4.9.2.3 Factores no controlables o de ruido.*

Son características o variables que no pueden controlarse durante el funcionamiento normal de proceso o en el experimento; Por ejemplo, luz, humedad, temperatura, ruido, etc.(Gutiérrez & de la Vara, n.d.)

### *4.9.2.4 Factores estudiados.*

Prieto Castellanos menciona que, estas son las variables probadas en la prueba de cómo afectan o afectan la(s) variable(s) de respuesta. Los factores que se investigan pueden controlarse o no, lo último de lo cual probablemente sea factible e interesante de controlar durante el experimento. Para estudiar un factor, es necesario probarlo en al menos dos niveles o condiciones en el experimento.(Gutiérrez & de la Vara, n.d.)

### *4.9.2.5 Niveles y tratamientos.*

En cada factor estudiado en un diseño experimental se asignan diferentes valores a estos se les denominan niveles, a cada combinación de los niveles de las variables estudiadas se llama tratamiento.(Gutiérrez & de la Vara, n.d.)

## 5. Capítulo 2: Simulación y construcción del disco de freno original y rediseñado a través de programas computacionales especializados.

### 5.1 Diseño y simulación del sistema a través de programas especializados

#### 5.1.1 Solid Work.

SOLIDWORKS es un software de diseño CAD (diseño asistido por computadora) en 3D para modelar piezas y ensamblajes en 3D, así como dibujos en 2D. El software ofrece una gama de soluciones que cubren todos los aspectos involucrados en el proceso de desarrollo del producto. Sus productos brindan la capacidad de crear, diseñar, simular, fabricar, publicar y administrar datos de procesos de diseño.(SOLIDWORKS, n.d.)

#### 5.1.2 ANSYS.

ANSYS es un ecosistema de programas CAE para el diseño, análisis y modelado de piezas FEM, incluye las etapas de preparación de mallas, fabricación y post procesamiento, el programa realiza el análisis de las piezas sujeto a los fenómenos físicos utilizados en la diseño y diseño. mecánica, puede resolver problemas de física bajo calor, fluidos, vibraciones y aplicaciones específicas, se describen brevemente sus principales módulos por especialidad.(3DCadPortal, n.d.)

#### 5.1.3 Rediseño del disco de freno original a sobre ventilado.

ISUZU, 1998 presenta las dimensiones básicas del elemento frenante móvil de un vehículo Chevrolet modelo LUV C/S 4X2 T/M INYEC de cilindraje 2.2 l, con el disco de freno se procede a tomar las medidas con de pie de rey o calibrador. El diseño superficial que se optara para el disco es el 4.4.3 estudiado anteriormente.

### Figura 22

*Toma de medidas del disco de freno.*



#### 5.1.4 Modelado.

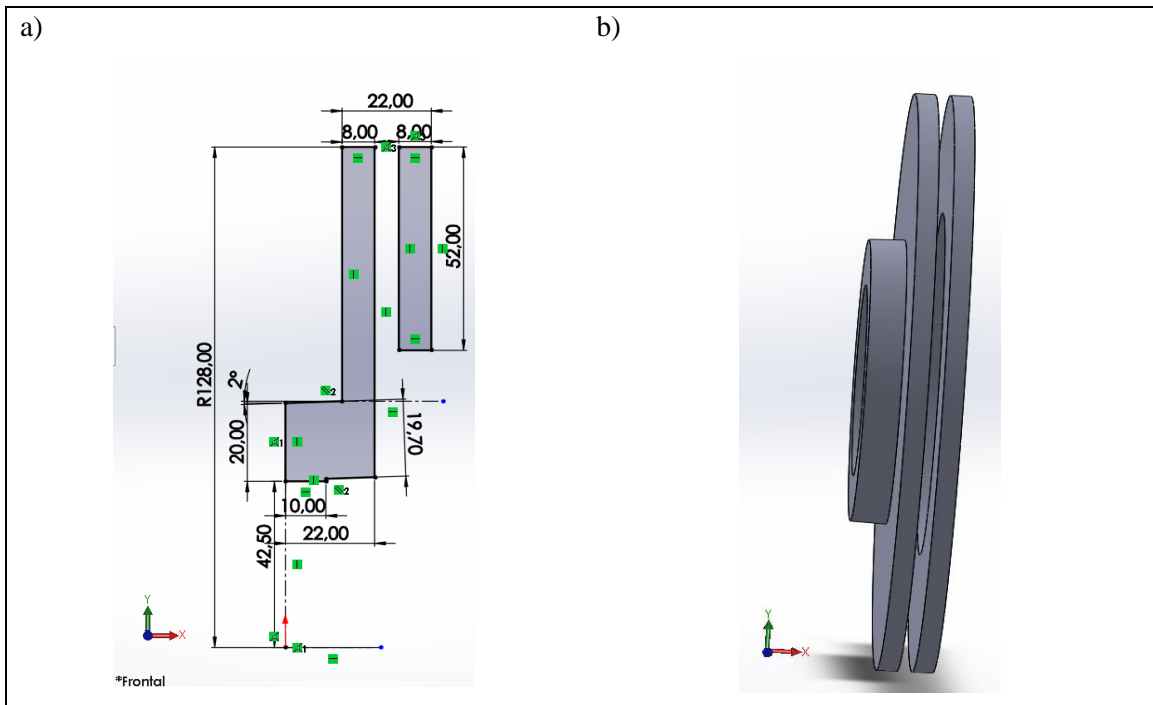
En el proceso de diseño se usó el programa computacional CAD SolidWorks. Se optó por el diseño más conveniente para el proyecto, excluyendo chaflanes y redondeados para el modelo. (Álvarez Esteban et al., 2012)

##### 5.1.4.1 Construcción del plano inicial.

Una vez visto los detalles del plano se traslada la información al programa computacional se realiza el boceto del disco en perfil para aplicar una forma tridimensional.

**Figura 23**

*Plano de construcción del perfil del elemento.*

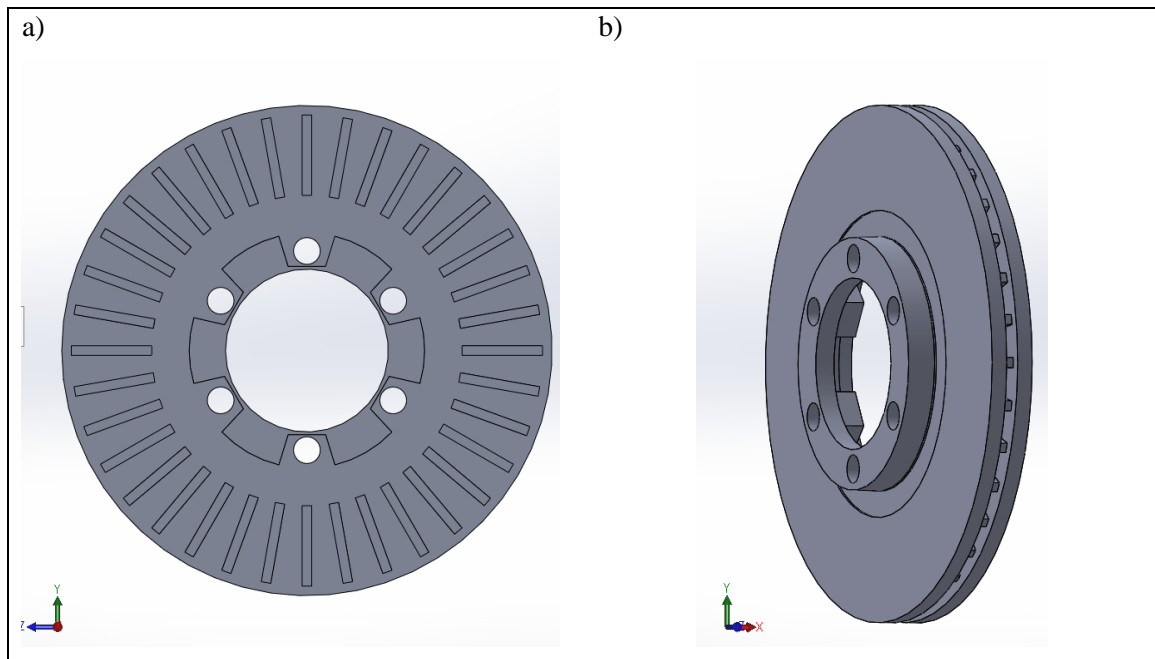


*Nota:* a) Cotas del elemento para elaborar el perfil según tomado con instrumento. b) Modelado del elemento en SolidWorks sin el canal de enfriamiento.

##### 5.1.4.2 Construcción del canal de enfriamiento.

El enfriamiento es lineal con efecto de redonde en la placa superior e inferior del disco con un total de 36 alavés espaciados en la superficie según indica el fabricante. (ISUZU, 1998)

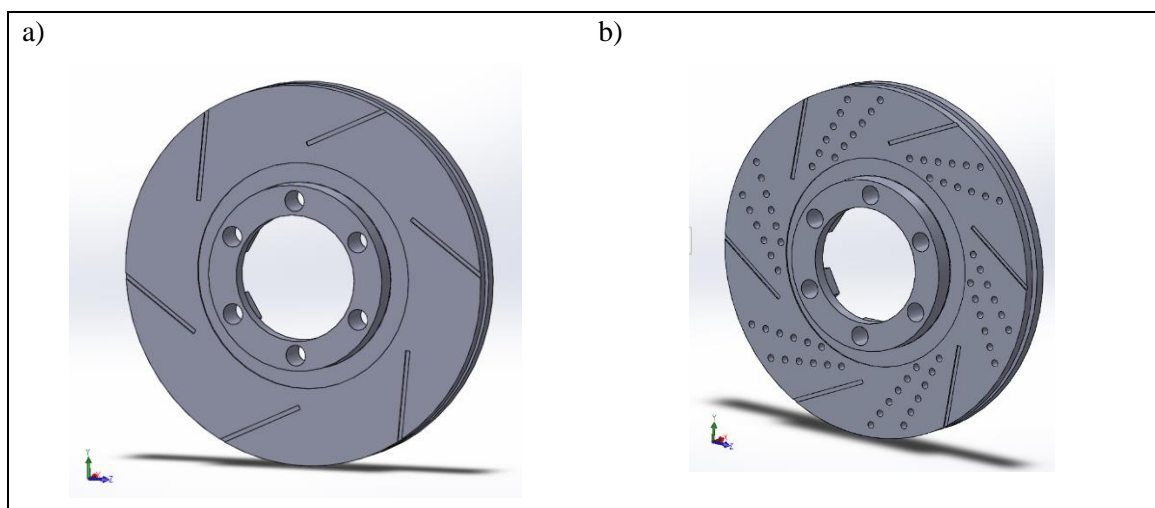
**Figura 24**  
*Construcción del canal de enfriamiento y modelado.*



#### 5.1.4.3 Proceso de ralladura y perforación.

Las dimensiones de orificios, ranuras, profundidades y distancias detalladas en la figura 23 se eligieron, las cuales irán centradas sobre los ejes ya descritos anteriormente.

**Figura 25**  
*Ranurado y perforado del elemento.*



### 5.1.5 Simulación en programa CAE del disco.

Debido a que el modelo se le desbasta material en el mecanizado, se hará un estudio en el programa computacional ANSYS de deformación y térmico corroborando que el diseño tenga un óptimo desempeño contra el modelo original.

**Tabla 4**

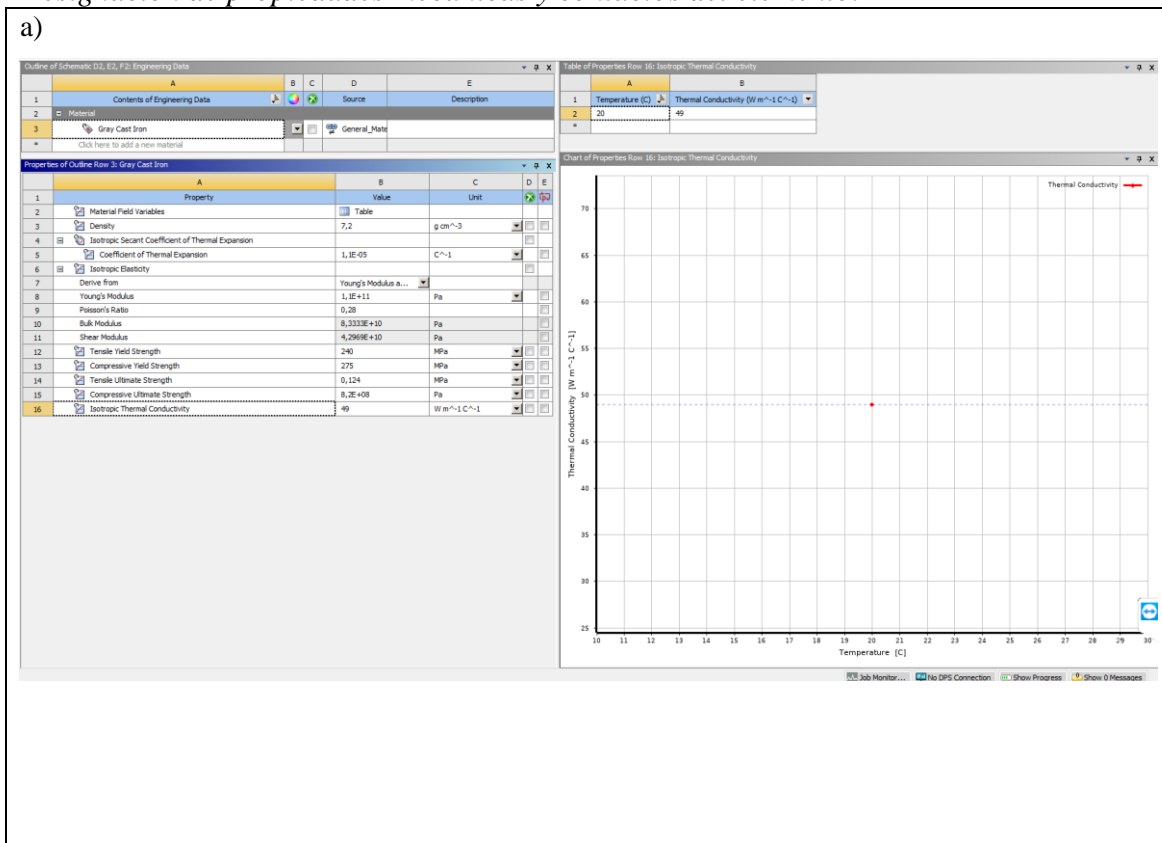
*Propiedades mecánicas, térmicas y físicas del acero ASTM 40*

Descripción	Valor	Unidad
<b>Densidad</b>	6,95-7,35	$g/cm^3$
<b>Dureza</b>	200	Vickers
<b>Dilatación térmica lineal (0-500 °C)</b>	13	$(\mu m/m \cdot ^\circ C)$
<b>Conductividad térmica (100°C)</b>	49	$w/m \cdot K$
<b>Conductividad térmica (400°C)</b>	40	$w/m \cdot K$
<b>Capacidad calorífica específica (100°C)</b>	0.586	$J/g \cdot ^\circ C$
<b>Capacidad calorífica específica (1000°C)</b>	1.050	$J/g \cdot ^\circ C$
<b>Remanencia</b>	0.413	T

Reconocido el material del elemento se propone a transferir la información al programa computacional para el estudio térmico estacionario del elemento, posteriormente se, cargará la geometría de estudio y nos aseguramos de que los canales de enfriamiento del disco estén soldados a la superficie de fricción.

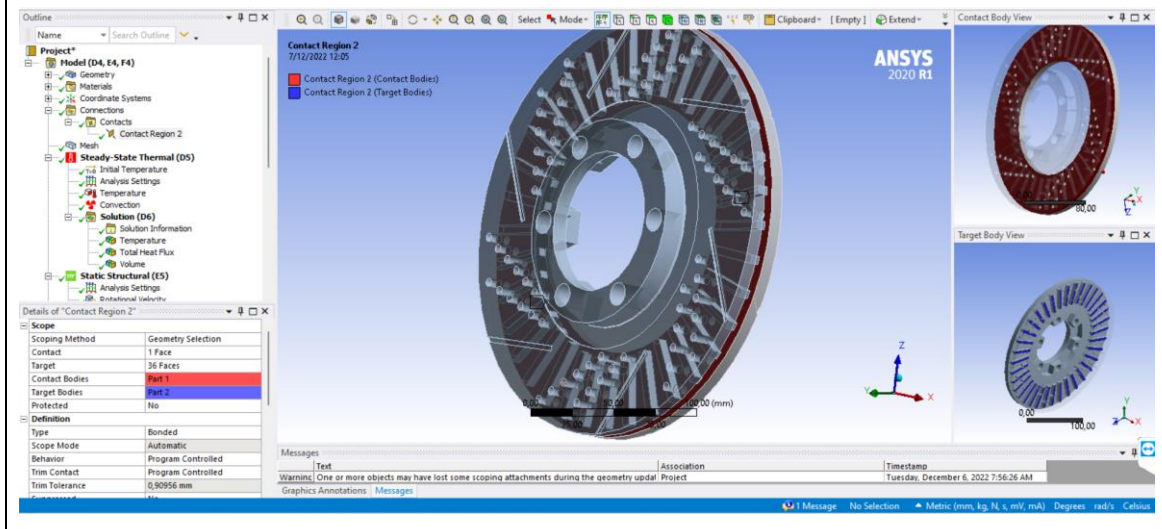
**Figura 26**

*Designación de propiedades mecánicas y contactos del elemento.*



Continuación **Figura 26**

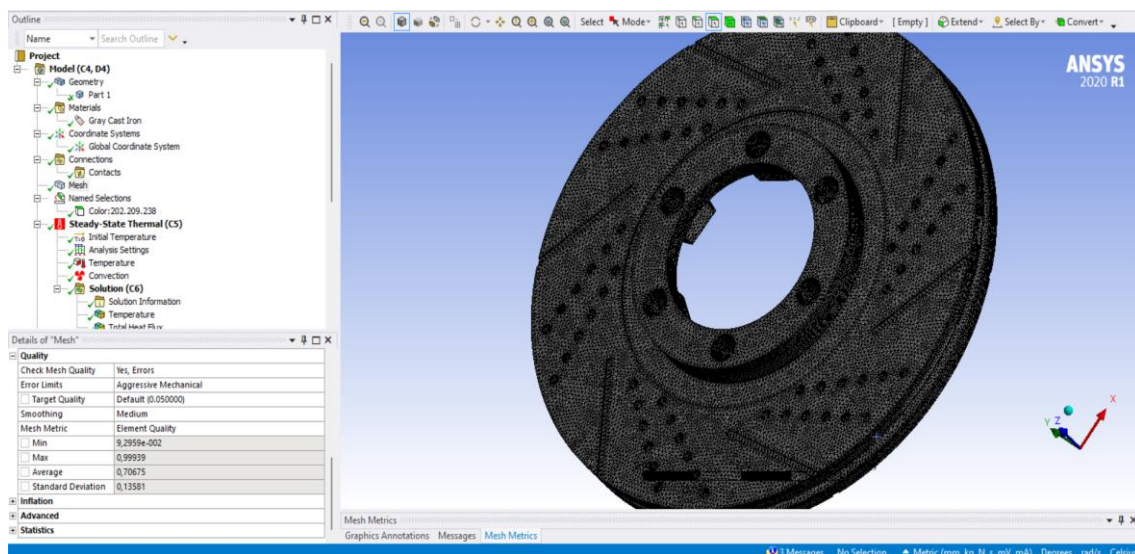
b)



*Nota:* a) Designación de propiedades mecánicas en "Engineering Data" del ANSYS de acuerdo al material ASTM "fundición en gris" Grado 40. b) Contacto generado entre el canal de enfriamiento y la placa posterior.

Se propone una calidad de mallado del 70.60% con preferencias físicas/mecánicas, alisado de calidad media y calidad de objetivo 0.05 mm. Por otra parte, en zonas de perforado y ranurado se usaron distintos tipos de mallado ya que al suprimir los redondeces y chaflanes los ángulos rectos generan puntos críticos en la estructura.

**Figura 27**  
*Mallado del elemento.*





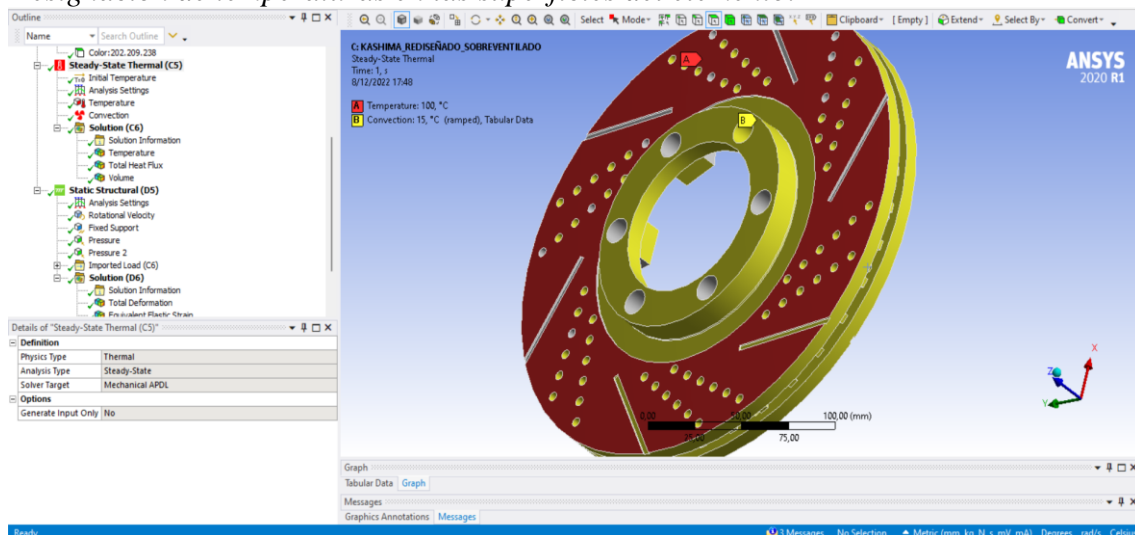
### 5.1.5.1 Análisis térmico.

Para el estudio se debe tener en cuenta la temperatura ambiente del entorno, de 15°C, y una temperatura final de la superficie expuesta a la fricción, 100°C. Determinado esto, se coloca el tipo de transferencia de calor en el elemento, como se determinó en 4.7.5.4, y el coeficiente de temperatura del aire se lo toma como convección normal. Para finalizar, se consideran tres variables de respuesta tales como:

- Temperatura total del elemento.
- El flujo de calor del elemento.
- Y, volumen de calor por mm<sup>3</sup>.

**Figura 28**

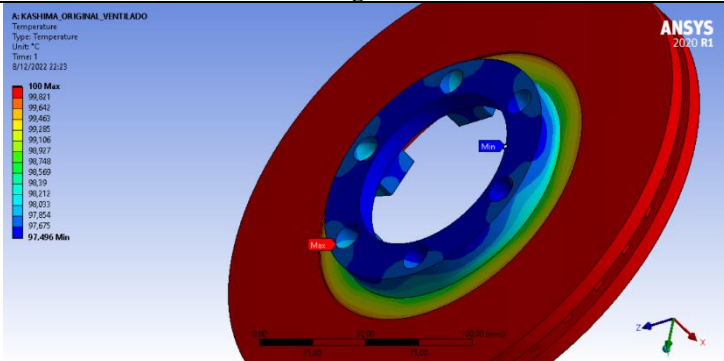
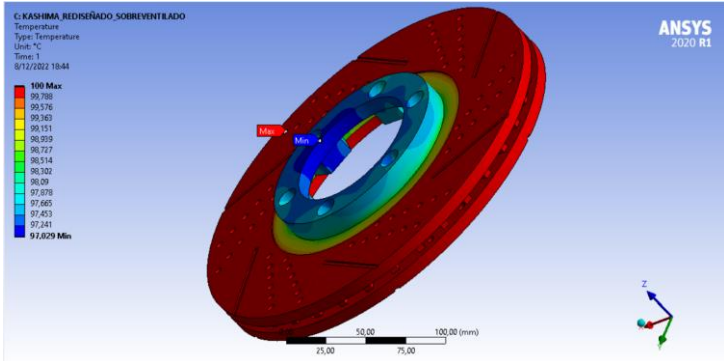
*Designación de temperaturas en las superficies del elemento.*



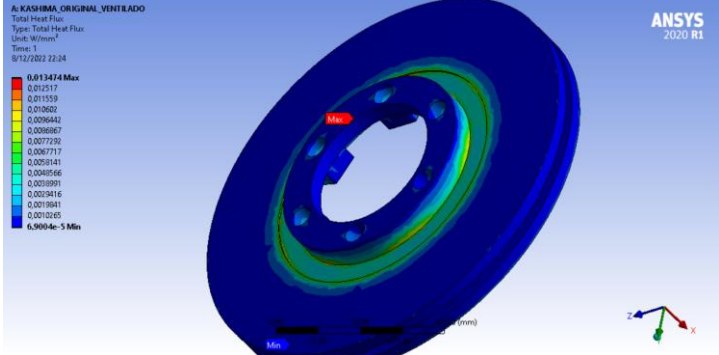
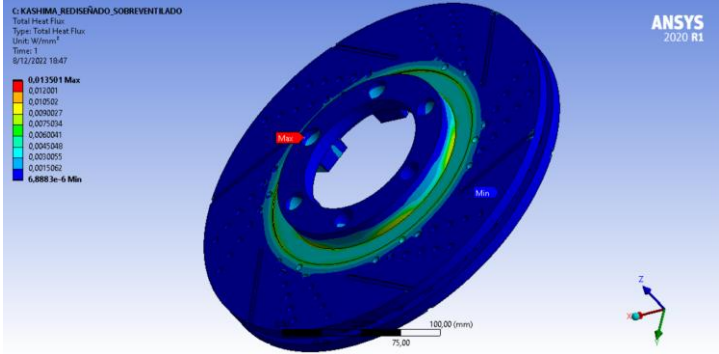
#### 5.1.5.1.1 Resultados.

Se denotarán observaciones por cada variable expuesta anteriormente entre el modelo original y el sobre ventilado.

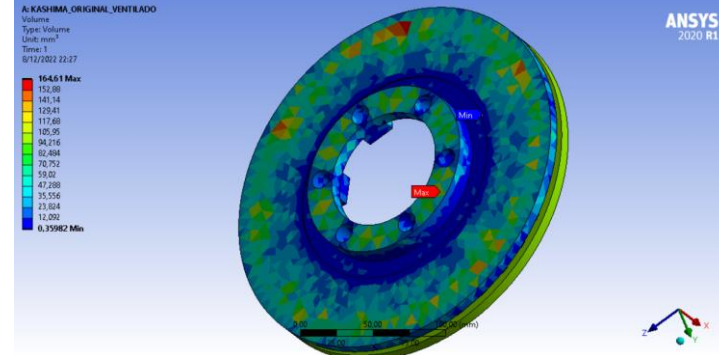
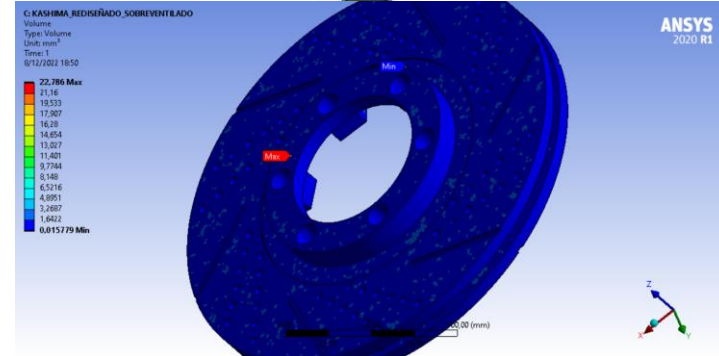
**Tabla 5**  
*Resultados de temperatura en el disco de freno.*

Modelo	Figura	Observaciones
<b>Diseño original.</b>		<p>Se observa que el disco original tiene una temperatura del 97,49 °C en los puntos de fijación, sucesivamente elevándose hasta llegar a la superficie frontal con una temperatura de 99,81 °C proporcional en toda la pista de frenado.</p>
<b>Diseño sobre ventilado.</b>		<p>Se observa que el disco tiene una temperatura de 97,029 °C en la fijación aumentando sucesivamente hasta las pistas de frenado con una temperatura del 99,788 °C en toda la superficie.</p>

**Tabla 6**  
Resultados de flujo de calor del disco de freno.

Modelo	Figura	Observaciones
Diseño original.		<p>El flujo de calor del elemento rediseñado es mayor que el original provocando que la energía por milímetro cuadrado en la zona crítica de fricción sea menor, asegurando el comportamiento esperado del disco de freno en funcionamiento.</p>
Diseño sobre ventilado.		

**Tabla 7**  
Resultados de temperatura por volumen del elemento.

Modelo	Figura	Observaciones
Diseño original.		<p>En el modelo original de disco presenta mayor temperatura en el elemento por milímetro cuadrado y además, el valor más bajo de elemento resulta ser evidentemente mayor al disco rediseñado.</p>
Diseño sobre ventilado.		

### 5.1.5.2 Análisis de deformación.

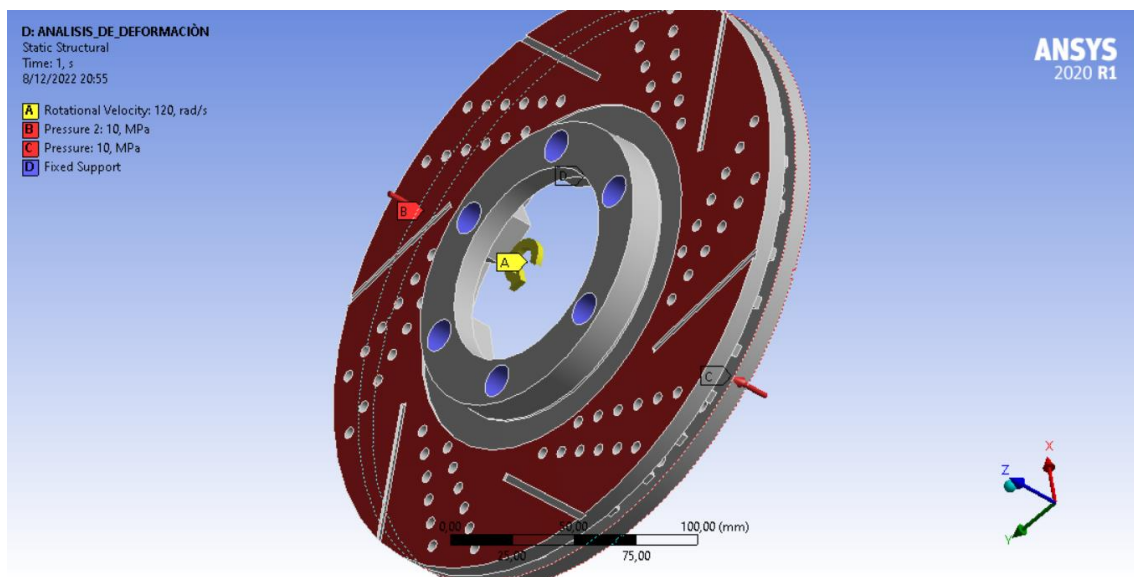
Se determinará la deformación del elemento frenante en su valor más crítico de frenado, 100 bares como se detalló en 4.3, tomando en cuenta la temperatura del elemento con el estudio térmico realizado posteriormente. Como soportes del elemento se toman los agujeros donde se fija el disco al vehículo, la fuerza mencionada se aplicará en la superficie del disco donde friccionará con las pastillas y el elemento tendrá una velocidad media de funcionamiento rotación 120 rad/s o 1200rpm aproximadamente.

Las variables que se encontraran son:

- Deformación total.
- Esfuerzo equivalente de Von Mises.
- Volumen de esfuerzo por  $\text{mm}^3$ .

### Figura 29

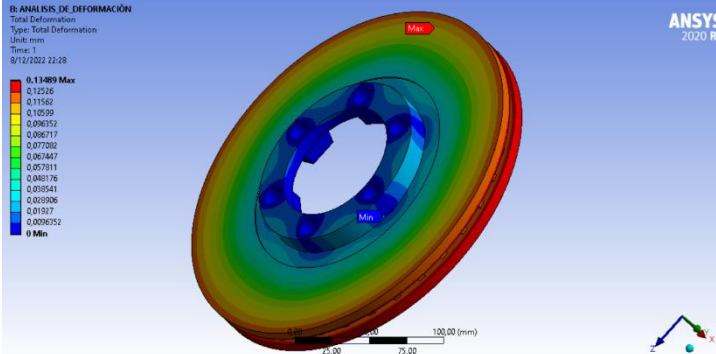
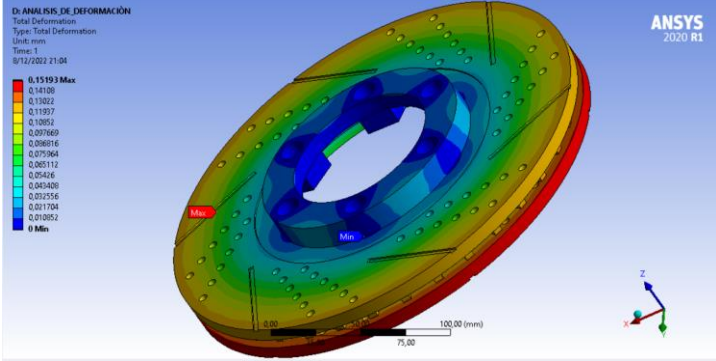
*Variables aplicadas al análisis estructural del disco rediseñado & original.*



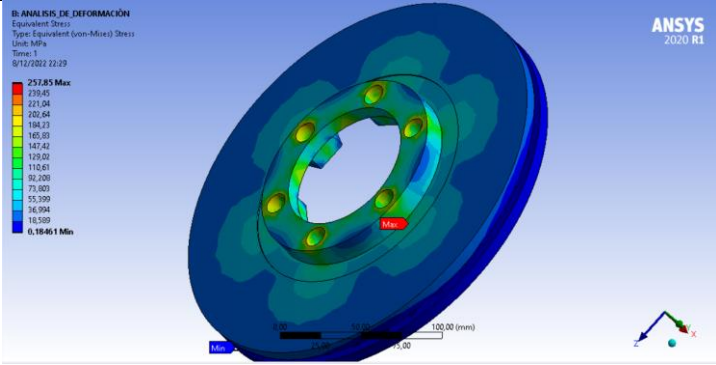
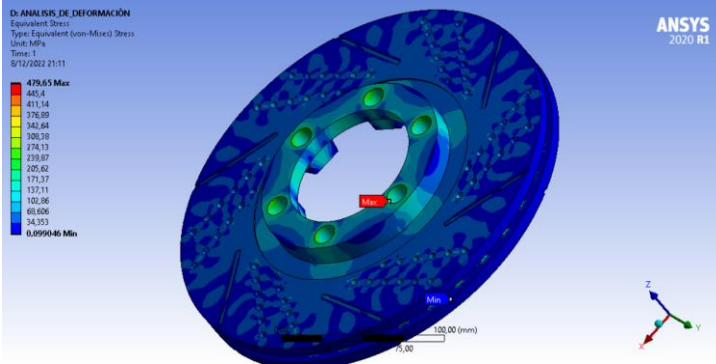
#### 5.1.5.2.1 Resultados.

Se analiza la deformación total, esfuerzo de Von Mises y el volumen de presión por área de los elementos origina y sobre ventilado.

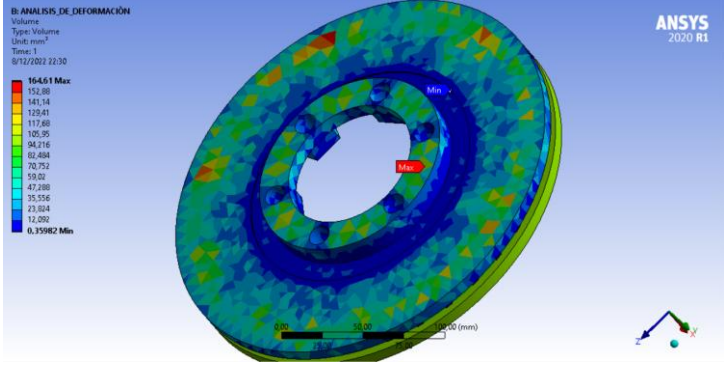
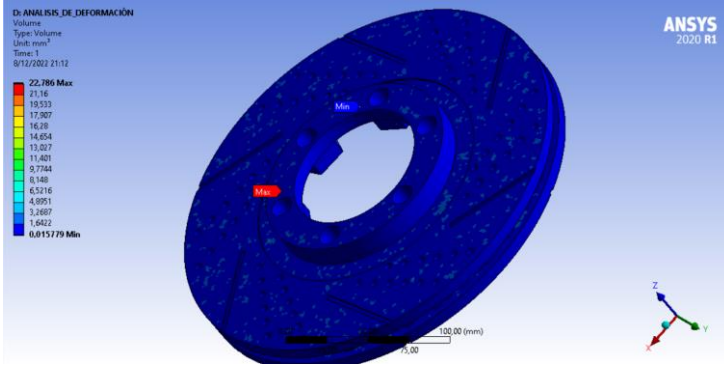
**Tabla 8**  
*Resultados de la deformación total.*

Modelo	Figura	Observaciones
<b>Diseño original.</b>		<p>El elemento rediseñado al tener menor masa posee una mayor deformación, sin embargo, esto es prácticamente despreciable para ambos discos.</p>
<b>Diseño sobre ventilado.</b>		

**Tabla 9**  
*Resultados de Tensión equivalente Von Mises.*

Modelo	Figura	Observaciones
<b>Diseño original.</b>		<p>Se observa que en el diseño original tiende deformarse en una escala de 165, 83 a 202,64 Mpa a los alrededores de los orificios roscados por el mismo hecho que son los puntos de sujeción y tiene más tensión en los mismos, disipándose alrededor de la pista de frenado.</p>
<b>Diseño sobre ventilado.</b>		<p>Se observa que en el diseño sobre ventilado existe una deformación máxima en el principio de los agujeros roscados teniendo una disipación uniforme sobre la campana y la pista de frenado.</p>

**Tabla 10**  
*Resultados de deformación por volumen del objeto.*

Modelo	Figura	Observaciones
<b>Diseño original.</b>		<p>El elemento rediseñado posee mayor tolerancia a la deformación en la pista y al tener menos masa reduce las tensiones en todo el elemento.</p>
<b>Diseño sobre ventilado.</b>		

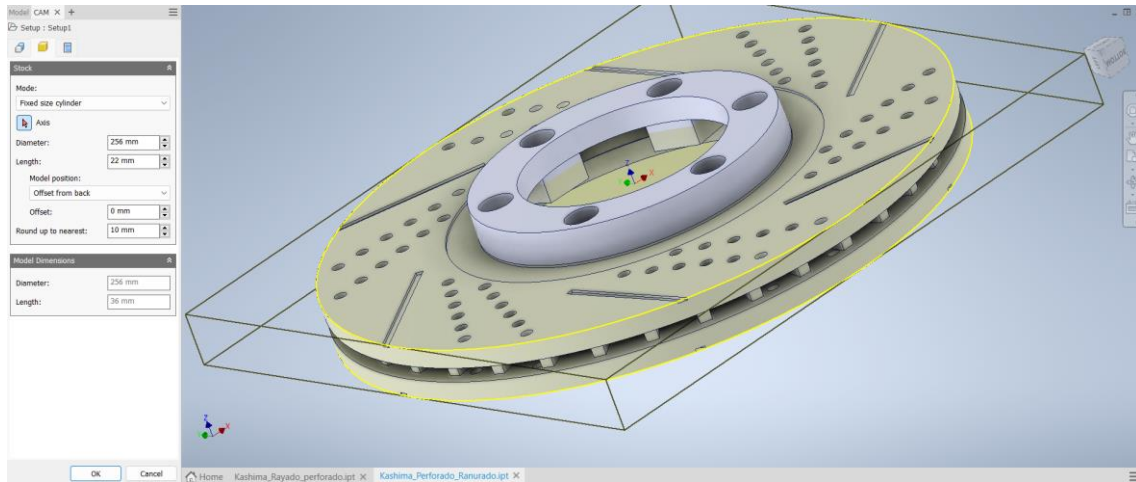
## 5.2 Mecanizado del disco.

Para realizar el ranurado y perforado del disco se opta por usar una máquina de control numérico CNC, para garantizar el mecanizado según la geometría planteada del diseño. El proceso de esto se lo desarrolla en una extensión para programas de autodesk llamado CAM Inventor, encargado de realizar la simulación de mecanizado y proporcionar el post procesamiento al equipo CNC.

### 5.2.1 Procesos utilizados.

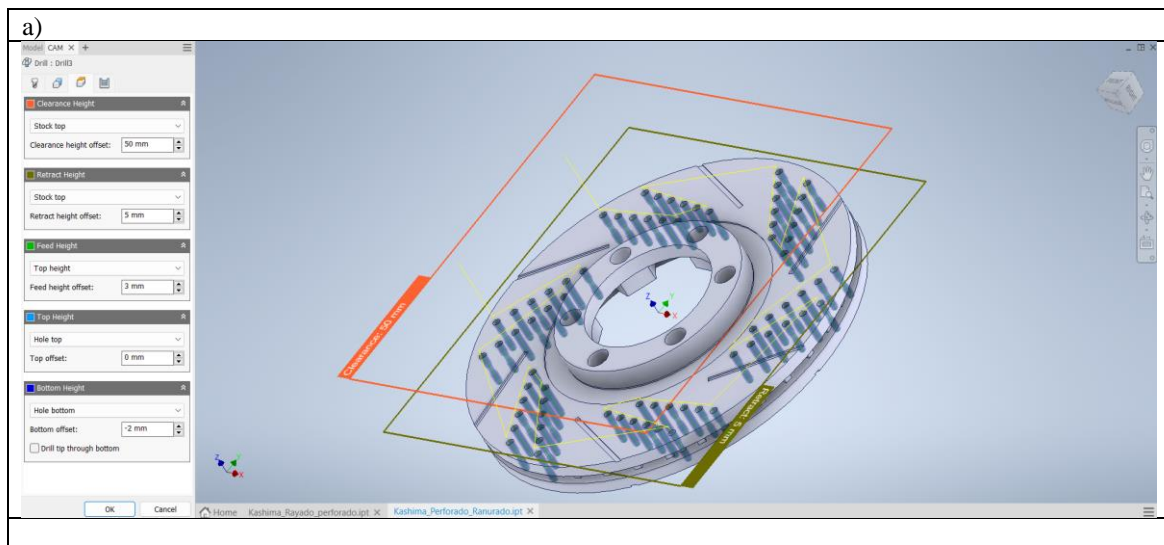
Para el desarrollo de la simulación del mecanizado se precisa desarrollar el *setup* donde especificaremos que la sección de mecanizado estará ubicada entre la zona fricción, ver figura 28, además se determina el tipo de maquina a usar, se selecciona la posición del eje CNC y el tipo de molde o perfil del elemento.

**Figura 30**  
*Setup del disco de freno.*



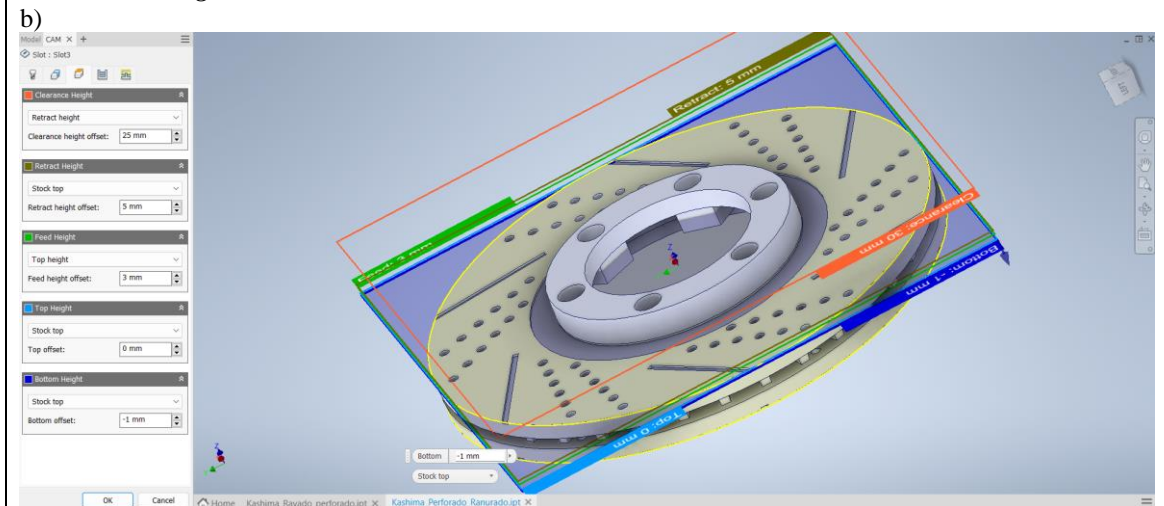
A continuación, se realiza los procesos a mecanizar. Ase tomó 3 procesos en cuenta, 2 taladrados y un ranurado; el proceso de taladrado se tomará con brocas de diámetros 3.5 milímetros y de 5 milímetros, y para el ranurado se implementa una broca plana de 3 milímetros.

**Figura 31**  
*Procesos de mecanizado del elemento.*





Continuación **Figura 31**



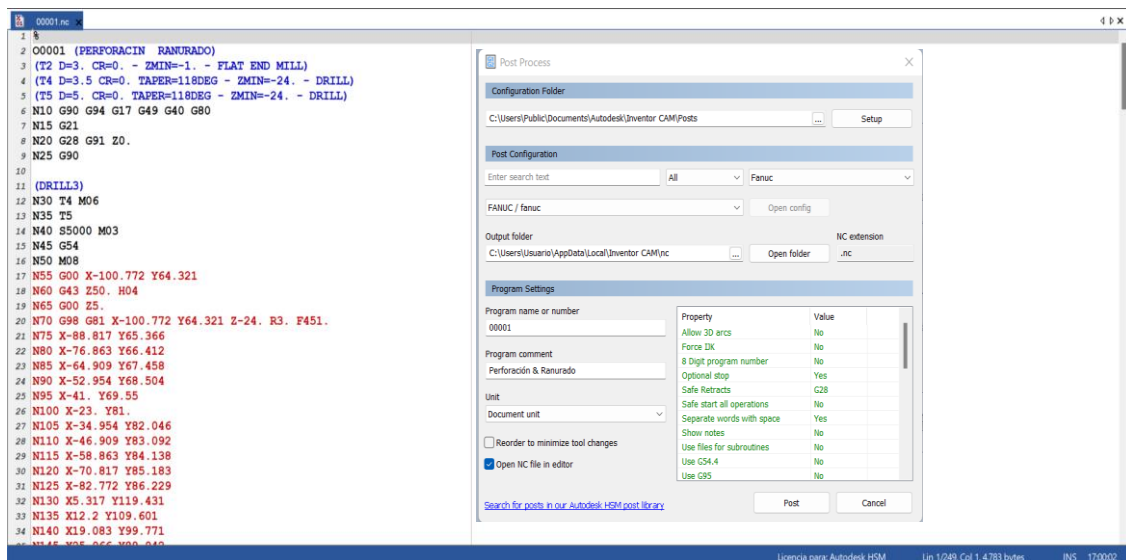
*Nota:* a) Taladrado del elemento con broca de 3.5 mm y 5 mm de diámetro respectivamente, este proceso atraviesa todo el elemento. b) Ranurado del elemento con broca plana 3mm de diámetro, proceso realizado desde la parte externa a la interna.

5.2.1.1 *Post procesamiento de los datos.*

El post-procesamiento convierte los datos de la ubicación del cortador independiente de la maquina en código G específico de la máquina. La herramienta CAM proporciona la configuración para varios modelos de CNC en el mercado, el modelo FANUC está disponible en esta herramienta siendo útil para la maquina a usar.

**Figura 32**

*Interpretación del programa a código G para maquina FANUC.*



### 5.2.2 Perforación de agujeros.

En el disco de frenos normal se realizó las modificaciones respectivas diseñadas y probadas en el programa computacional, se adquirió el código G para ser enviado a la CNC , con la operación de la fresadora obteniendo el mejor acabado y precisión.

#### 5.2.2.1 Fijación y centrado del disco de freno.

Se colocó y se precisó el disco de frenos sobre la base de la fresadora, tomando en cuenta las coordenadas en las que se mecanizará.

### Figura 33.

Coordenadas de la CNC para el mecanizado.



#### 5.2.2.2 Perforación de agujeros de ventilación de disco de frenos.

Se procedió a perforar que ventilaran el disco de freno, los mismos con un diámetro de 5 mm y pasantes por todo el elemento.

Se procedió a taladrar el elemento hasta cruzar la pista de frenado posterior, para evitar deformaciones o pérdidas de propiedades de material, el mecanizado consto de un proceso con brocas de 3 mm y 5 mm de diámetro.

**Figura 34.**

*Proceso de perforación en el disco a través de la CNC.*



**Figura 35.**

*Perforación de agujeros en la fresadora.*



### **5.2.3 Desbaste.**

Se debastó las ranuras que sirven para la evacuación y ventilación de virutas en el disco. Las limitaciones geométricas del canal son profundidad (1 mm) y espesor (3 mm), manteniendo siempre en no involucrar los espesores del disco.

**Figura 36.**

*Debaste de las ranuras en el disco.*



#### **5.2.4 Acabado final.**

Al terminar el mecanizado se observa imperfecciones en la superficie del elemento provocados por el devaste de material. Para garantizar los resultados de simulación se eliminó las escorias y relieves del disco mecanizado por medio de un pulido.

**Figura 37.**

*Acabado final de los discos de mecanizados.*



## **6. Capítulo 3: Diseño experimental y análisis de eficiencia de frenado.**

En el presente capítulo se analizará los factores de mayor relevancia para mejorar la eficacia de frenado en el automotor utilizando un diseño experimentos entre los principales factores; distancia de frenado, tiempo de frenado, tipo de disco de freno a distintas velocidades por medio de un banco especializado para pruebas de frenado.

## **6.1 Diseño del experimento.**

Dada la cantidad de variable que posee el experimento se plantea realizar dos diseños con una variable diferente para obtener dos DOE de tres factores y dos niveles, también expresado como  $2^3$ .

### **6.1.1 Variables usadas para el estudio.**

Existe una gran cantidad de variables tanto físicas como computacionales para este experimento debido a los implementos usados, banco de prueba, pista, etc. Sin embargo, aplicando formulas vistas en el punto 4.7.1, 4.7.2 y 4.7.3 se obtienen la siguiente información.

**Tabla 11**

*Niveles y valores de los factores de estudio.*

<b>Nomenclatura</b>	<b>Factor</b>	<b>Nivel</b>	<b>Valor</b>	<b>Tipo</b>
<b>A</b>	Tipo de disco.	Original, Rediseñado.	Original, Rediseñado.	Tipo categórica.
<b>B</b>	Distancia de frenado.	Mínimo, Máximo.	0,27m- 2,44m	Tipo numérico
<b>C</b>	Tiempo de frenado.	Mínimo, Máximo.	0,39s-1,17s	Tipo numérico
<b>D</b>	Velocidad.	Mínimo, Máximo.	5km/h-15km/h	Tipo numérico

*Nota:* La presente tabla muestra la nomenclatura que se usara en el programa especializado estadístico, además, los resultados presentados son valores teóricos los cuales cumple el experimento en el punto 6.2.1 y 6.3.1.2 Realizado por los autores.

Por otra parte, el banco de pruebas ofrece información sobre la fuerza aportada de frenado por cada lado del eje delantero y el porcentaje de desalineación obteniendo así la eficiencia del frenado según lo descrito en el punto 4.7.4.

### **6.1.2 Clasificación.**

Descrito el punto 6.1.1 se deberá clasificar las variables de entrada y de salida, de esta forma se asegura no cometer errores de interpretación a la hora de realizar el diseño experimental.

#### **6.1.2.1 Variables de entrada o independientes.**

En el punto 4.9, se deduce que los factores de entrada son A, B, C y D en la tabla 11.

#### **6.1.2.2 Variable de salida o dependiente.**

Por otra parte, la variable que nos proporciona información es la eficiencia de frenado obtenida según el punto 4.7.4.

### **6.1.3 Hipótesis del experimento.**

Según las variables de entrada el diseño de experimento puede plantearse las siguientes hipótesis:

$H_0$ : La media de A = 0

$H_A$ : La media de A  $\neq$  0

$H_0$ : La media de B = 0

$H_A$ : La media de B  $\neq$  0

$H_0$ : La media de C = 0

$H_A$ : La media de C  $\neq$  0

$H_0$ : La media de D = 0

$H_A$ : La media de D  $\neq$  0

### **6.2 Proceso de experimentación.**

El experimento está dividido en dos fases, la primera con el disco de freno nuevo y el disco de freno rediseñado, además se reformulan algunas condiciones de las normas vistas en 4.8 debido a las limitaciones del equipo de medición y demás variables de ruido presentes en el medio descritas en los puntos 6.1.1 y 6.3.1.2.

#### **6.2.1 Equipo Futur 2000**

Tiene la capacidad de medir, computar y reflejar con exactitud el estado del vehículo en frenos, dirección y constancia de fuerzas, utilizando muchos parámetros para evaluar el estado de la suspensión. El equipo Consiste en un conjunto de placas de deslizamiento enlazadas a un dinamómetro de precisión, capaces de medir las fuerzas generadas en una frenada independientemente de cada rueda, sin importar las condiciones en que se encuentre. Además, utiliza un programa computacional a través de un ordenador que en menos de tres segundos es capaz de reflejar la potencia y el equilibrio de frenada de los ejes del automóvil.(Centralauto, 2015)

Al realizar las comprobaciones se debe ingresar con el vehículo en las placas a una velocidad de 5 y 15 Km/h, y frenar progresivamente, tratando de alcanzar las operaciones al máximo, mantener pisado el pedal de freno hasta que finalicen las vibraciones de la suspensión.(Centralauto, 2015)

### 6.2.1.1 Parámetros de pruebas.

**Tabla 12**

*Diferentes parámetros de pruebas.*

<b>Fuerza de frenada.</b>	Los vehículos de peso medio deben realizar una frenada cercana a los 400 Kg en el eje delantero.
<b>Velocidad de la prueba.</b>	La velocidad de prueba para el sistema de frenado deber suave y lenta.
<b>Suspensión del eje</b>	Diferencias de frenada del 0 al 20% = semáforo verde.
	Diferencias de frenada del 20 al 30% = semáforo ámbar.
	Diferencias de frenada del 30 al 100% = semáforo rojo.

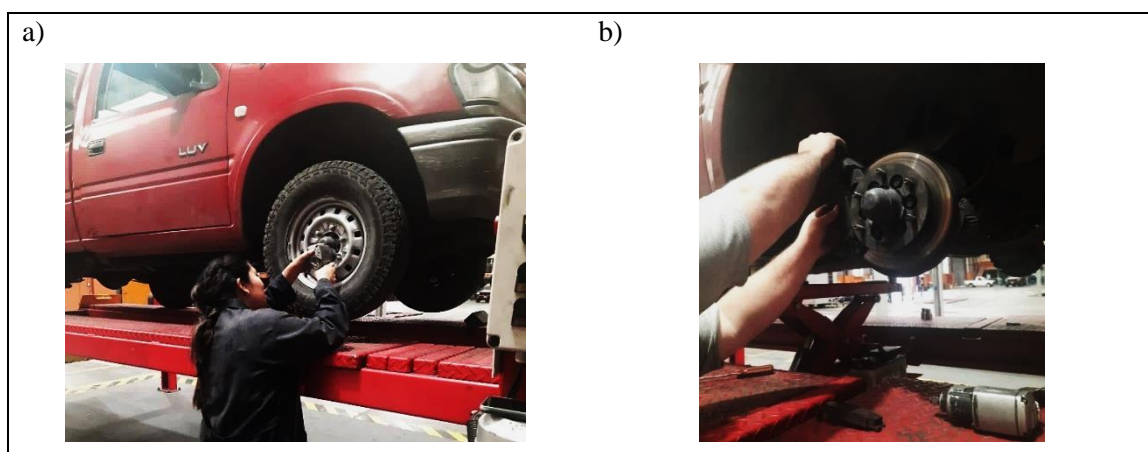
*Nota.* Se indican las características que se debe tomar en cuenta al momento de realizar las pruebas en el frenómetro futur 2000 (p 31) por Centralauto, 2015.

### 6.2.2 Mantenimientos previos del vehículo de prueba.

Para el montaje del disco original se procedió a retirar los neumáticos delanteros(figura 35 (a)), inspeccionar los elementos del sistema, retirar los componentes mecánicos que sostienen el disco (figura 35 (b)), instalar el nuevo y por consiguiente, se realiza las pruebas respectivas en el frenómetro.

**Figura 38.**

*Mantenimiento del sistema de frenos.*



*Nota.* En la figura (a) se muestra el proceso de retiro de neumático y en la figura (b) el retiro de la pinza de freno.

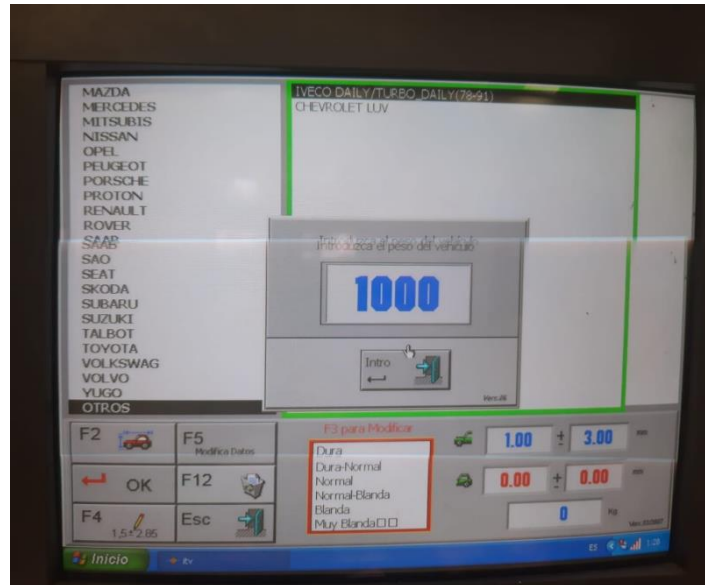
### 6.2.3 Fase I de experimentación.

Para realizar el proceso de experimentación hay que introducir los requerimientos del programa como modelo de vehículo, tipo de suspensión y peso del mismo, acorde a las especificaciones del fabricante, necesarias para la confiabilidad de

los resultados obtenidos. Ya con el disco original en el vehículo se procede a realizar las pruebas en el frenómetro futur 2000 inciso 6.2.1.1 (tabla 12).

**Figura 39**

*Especificación del peso del vehículo.*



**Figura 40**

*Vehículo en posición para realizar las pruebas en el frenómetro.*



#### **6.2.4 Fase II de experimentación.**

Como fase dos del experimento se restituye el disco rediseñado del original, se procede a realizar las pruebas respectivas en frenómetro.

**Figura 41**

*Pruebas con el disco rediseñado.*



a)

b)



*Nota.* En la figura (a) se muestra el disco rediseñado en el sistema de frenos y en la figura (b) el vehículo en posición para iniciar las pruebas en el frenómetro,

### **6.3 Interpretación de los datos.**

El equipo de pruebas nos proporciona los datos necesarios para obtener la eficiencia de frenado, sin embargo, por el proceso de experimentación visto en los puntos 6.1.2 y 6.2 tenemos más observaciones con mayor cantidad de datos donde intervienen el reparto de fuerzas del vehículo, las fuerzas de frenado ejercidas por el conductor y aerodinámica del carro, donde el efecto de mayor relevancia en la acción de frenar es el reparto de peso del automotor.

#### ***6.3.1 Fuerza de frenado en el vehículo.***

En el punto 4.2 se declaró los porcentajes aceptados para los vehículos de tipo turismo tanto en el reparto de ejes, 60% eje delantero y 40% eje trasero. Se debe considerar que los valores de eficiencia obtenidos representan la calidad de frenado del primer eje.

##### ***6.3.1.1 Distribución de fuerzas en el eje delantero***

El peso registro del automotor según ANT es de 1 tonelada, el cual tomaremos de referencia para obtener eficiencia de frenado. En total se realizaron 60 pruebas de eficiencia, 30 en el modelo original del disco y 30 restantes en el disco rediseñado. Los resultados quedan expresados de la siguiente manera.

**Figura 42**

*Obtención de fuerzas de frenado del vehículo en el eje delantero a 5 km/h.*



**Tabla 13**  
*Resultados del experimento.*

	Disco original					Disco rediseñado					
	Eje delantero izquierdo (kg*f)	Eje delantero derecho (kg*f)	Diferencia de fuerza por lado (%)	Fuerza total del eje (N)	Eficiencia de frenado (%)	Eje delantero izquierdo (kg*f)	Eje delantero derecho (kg*f)	Diferencia de fuerza por lado (%)	Fuerza total del eje (N)	Eficiencia de frenado (%)	
5 Km/h	1	208,00	244,00	15,00	2010,60	34,16	200,00	230,00	15,00	1912,73	32,50
	2	144,00	152,00	5,00	1316,67	22,37	150,00	157,50	5,00	1367,83	23,24
	3	188,00	224,00	16,00	1832,67	31,14	190,00	195,70	3,00	1715,68	29,15
	4	168,00	167,00	1,00	1490,15	25,32	175,00	189,00	8,00	1619,15	27,51
	5	200,00	218,00	8,00	1859,36	31,59	210,00	231,00	10,00	1961,67	33,33
	6	196,00	205,00	4,00	1783,74	30,30	195,00	216,45	11,00	1830,22	31,09
	7	160,00	176,00	9,00	1494,60	25,39	170,00	185,30	9,00	1580,45	26,85
	8	212,00	232,00	9,00	1975,01	33,55	210,00	224,70	7,00	1933,64	32,85
	9	196,00	208,00	6,00	1797,08	30,53	198,00	203,94	3,00	1787,92	30,38
	10	216,00	225,00	4,00	1961,67	33,33	220,00	220,00	0,00	1957,22	33,25
10 Km/h	1	180,00	176,00	2,00	1583,57	26,90	190,00	212,80	12,00	1791,74	30,44
	2	176,00	192,00	8,00	1636,94	27,81	185,00	185,00	0,00	1645,84	27,96
	3	224,00	228,00	2,00	2010,60	34,16	235,00	246,75	5,00	2142,93	36,41
	4	208,00	196,00	6,00	1797,08	30,53	215,00	227,90	6,00	1970,12	33,47
	5	220,00	228,00	4,00	1992,80	33,86	233,00	249,31	7,00	2145,42	36,45
	6	184,00	200,00	8,00	1708,12	29,02	195,00	212,55	9,00	1812,87	30,80
	7	192,00	205,00	6,00	1765,94	30,00	190,00	207,10	9,00	1766,39	30,01
	8	164,00	156,00	5,00	1423,43	24,18	210,00	224,70	7,00	1933,64	32,85
	9	212,00	212,00	0,00	1886,05	32,04	198,00	207,90	5,00	1805,53	30,68
	10	208,00	232,00	10,00	1957,22	33,25	220,00	222,20	1,00	1967,00	33,42
15 Km/h	1	252,00	256,00	2,00	2259,70	38,39	260,00	278,20	7,00	2394,03	40,67
	2	216,00	228,00	5,00	1975,01	33,55	220,00	220,00	0,00	1957,22	33,25
	3	234,00	242,00	3,00	2117,35	35,97	240,00	247,20	3,00	2167,17	36,82
	4	244,00	260,00	6,00	2241,90	38,09	250,00	252,50	1,00	2235,23	37,98
	5	226,00	228,00	1,00	2019,49	34,31	230,00	230,00	0,00	2046,18	34,76
	6	204,00	224,00	9,00	1903,84	32,35	215,00	225,75	5,00	1960,55	33,31
	7	264,00	264,00	0,00	2348,66	39,90	270,00	286,20	6,00	2474,10	42,03
	8	268,00	278,00	4,00	2428,73	41,26	285,00	299,25	5,00	2598,87	44,15
	9	268,00	272,00	1,00	2402,04	40,81	285,00	293,55	3,00	2573,52	43,72
	10	220,00	220,00	0,00	1957,22	33,25	235,00	239,70	2,00	2111,57	35,87

### 6.3.1.2 Consideraciones del experimento.

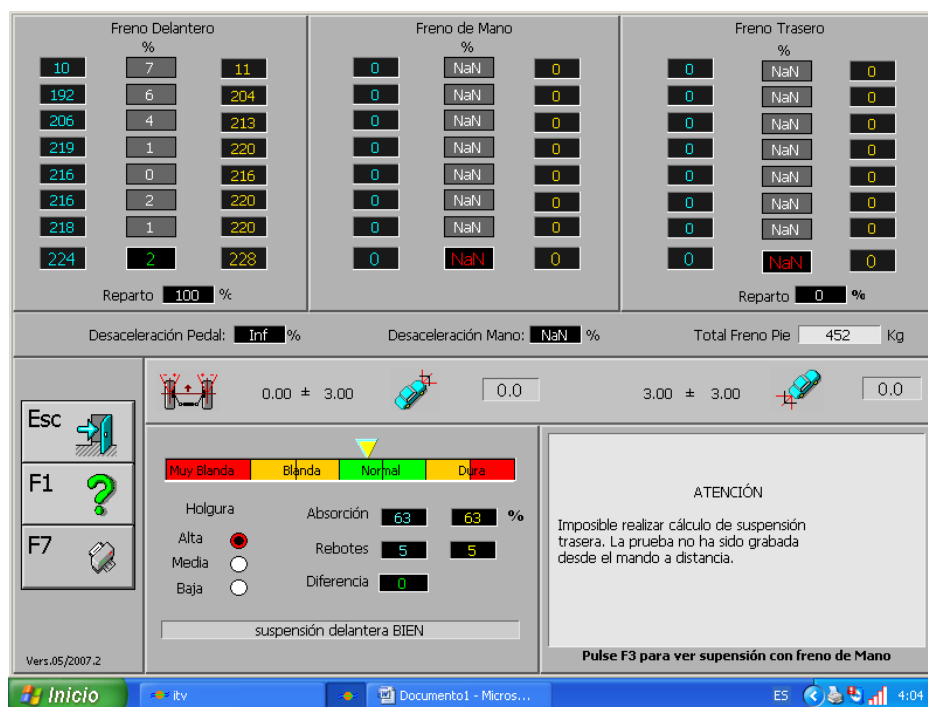
El experimento al ser realizado en un ambiente controlado y no agresivo se descartan variables como temperatura ambiente como de funcionamiento mencionados en 4.8, debido que el equipo de prueba nos ofrece el valor de fuerza de frenado de

manera estándar, es decir, los valores proporcionados son aplicables en bajas velocidades como en altas velocidades.

Se descartará para el DOE las muestras resultantes de 10km/h, como se muestra en el 6.3.1.1, dado que sus porcentajes de eficiencia son muy similares al de 5 km/h. Además, se tomará una fuerza media de pie 440 kg\*f para realizar cálculos teóricos de distancia y tiempo de frenado, este valor nos proporciona el *Futur 2000* durante la experimentación.

**Figura 43**

*Base de datos de la opción frenómetro del equipo Futur 2000 durante el experimento.*



Se observa que la labor de los neumáticos es diferente entre el eje delantero y posterior, sin embargo, se desprecia esta información ya que el eje analizado cumple con lo requerido la norma 4.8.2.

### 6.3.2 Datos obtenidos.

Los resultados del experimento teniendo en cuenta lo mencionado en los puntos 6.3, 6.3.1.1 y 6.3.1.2 son los siguientes:

**Tabla 14**

Resultado de eficiencia del experimento seleccionados para el DOE.

Eficiencia de frenado (%)	Valor promedio de prueba (%)
---------------------------	------------------------------

	Disco de freno original	Disco de freno rediseñado	Disco de freno original	Disco de freno rediseñado	
5 km/h	1	34,16	32,50		
	2	22,37	23,24		
	3	31,14	29,15		
	4	25,32	27,51		
	5	31,59	33,33	29,77	30,01
	6	30,30	31,09		
	7	25,39	26,85		
	8	33,55	32,85		
	9	30,53	30,38		
	10	33,33	33,25		
15 km/h	1	38,39	40,67		
	2	33,55	33,25		
	3	35,97	36,82		
	4	38,09	37,98		
	5	34,31	34,76	36,79	38,26
	6	32,35	33,31		
	7	39,90	42,03		
	8	41,26	44,15		
	9	40,81	43,72		
	10	33,25	35,87		

**Tabla 15**

*Espacio recorrido durante la frenada.*

Descripción	Formula	Datos	Valor	Unidad		
Mínimo	$S_{V_1-0} = \frac{m}{\rho \times C_x \times A_f} \ln \left( 1 + \frac{\frac{1}{2} \rho \times C_x \times A_f \times V_1^2}{F_f + P \times \sin \theta + f_r \times P} \right)$	m	600	Kg		
		$\rho$	0,957	$Kg/m^3$		
		$C_x$	0,34	U	0,267	m
		$A_f$	2,341	$m^2$		
		$V_1$	1,38 ; 4,77	m/s		
		$F_f$	1972,168	N		
		$f_r$	0,03	U		
		$P$	5886	N	2,44	m
		$\theta$	0	°		
		Máximo				

**Tabla 16**

*Tiempo transcurrido durante la frenada.*

Descripción	Formula	Datos	Valor	Unidad		
Mínimo	$t_{V_1-0} = m \times \frac{V_1}{f_r \times P + P \times \sin \theta + F_f}$	$V_1$	600	Kg		
		$F_f$	1,38 ; 4,77	m/s	0,39	s
		$f_r$	1972,168	N		
		$f_r$	0,03	U		
		$P$	5886	N	1,17	s
Máximo		$\theta$	0	°		

## 6.4 Planteamiento del DOE de tipo factorial optimizado con superficies de respuesta.

Previo al ingreso de datos es necesario definir las tablas con las variables de entrada y de salida que se van a comparar, teniendo lo siguiente:

**Tabla 17**

DOE con factoriales de velocidad, distancia de frenado y tipos de discos.

		A							
		Original				Rediseñado			
		B				B			
		0,27 m		2,44 m		0,27 m		2,44 m	
D	5 km/h	34,16%	33,55%	25,39%	25,32%	32,50%	33,25%	23,24%	27,51%
	15 km/h	40,81%	38,39%	32,35%	34,31%	44,15%	40,67%	33,25%	33,31%

*Nota:* Existen dos tratamientos por respuestas.

**Tabla 18**

DOE con factoriales de velocidad, tiempo de frenado y tipos de discos.

		A							
		Original				Rediseñado			
		C				C			
		0,39 s		1,17 s		0,39 s		1,17 s	
D	5 km/h	33,33%	31,59%	22,37%	30,30%	33,33%	32,85%	26,85%	29,15%
	15 km/h	41,26%	39,90%	33,25%	33,55%	43,72%	42,03%	34,76%	35,87%

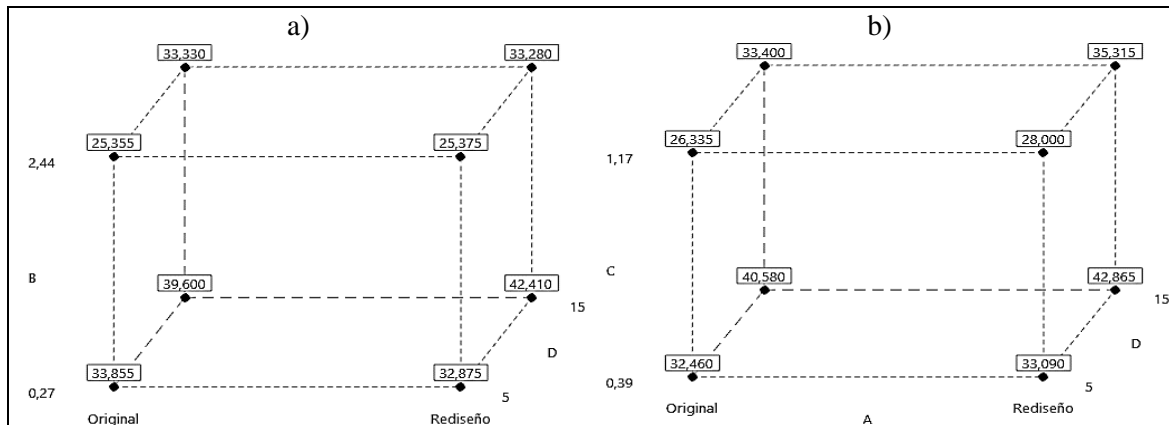
*Nota:* Existen dos tratamientos por respuestas.

### 6.4.1 Representaciones geométricas de los experimentos.

El espacio geométrico del experimento variara según las variables del estudio, de forma puntual, el DOE presenta un arreglo tridimensional como se muestra en la siguiente figura.

**Figura 44**

*Limites geométricos del experimento con medias de datos para eficiencia.*



*Nota:* a) grafica de cubo que representa el arreglo A, B y D con valores de medias para la eficiencia.  
 b) Gráfica de cubo que representa el arreglo A, C y D con valores de medias para la eficiencia.

### 6.4.2 Representaciones de YATE.

La siguiente representación es el resultado de las combinaciones del experimento según sea su tamaño y réplicas del mismo. El proyecto se considera tener dos replicas para mayor fiabilidad del resultado; en los resultados de la tabla ANOVA se mostrarán los efectos principales y secundarios con mayor relevancia para el estudio.

**Tabla 19**

*Representación de YATE según el experimento.*

Tipo de experimento	Arreglo de YATE				
	Alias	Segunda Nomenclatura			Valor
<b>Tipo de disco, Distancia de frenada y Velocidad V.S. Eficiencia. (ABD v.s. Eficiencia).</b>	I	-	-	-	34,16
	A	+	-	-	32,50
	B	-	+	-	25,39
	AB	+	+	-	23,49
	C	-	-	+	40,81
	AC	+	-	+	44,15
	BC	-	+	+	32,35
	ABC	+	+	+	33,25
<b>Tipo de disco, Espacio recorrido de frenados y velocidad V.S. Eficiencia. (ACD v.s. Eficiencia).</b>	I	-	-	-	33,33
	A	+	-	-	33,33
	B	-	+	-	22,37
	AB	+	+	-	26,85
	C	-	-	+	41,26
	AC	+	-	+	43,70
	BC	-	+	+	33,25
	ABC	+	+	+	34,76

*Nota:* Se presentan las posibles combinaciones de sus efectos principales y secundarias Con una sola réplica, la segunda réplica Tendrá el mismo orden, pero con distintos resultados.

### 6.4.3 Valores críticos.

De acuerdo con el *valor p* del experimento en ANOVA, se comparará con la prueba de Fisher que de forma analítica nos muestra el efecto predominante o de mayor relevancia para determinar la eficiencia en el eje delantero del vehículo. Existen tablas estándar con *valores F*, con porcentaje de error estimado para las pruebas, con fines prácticos se usará el programa matemático y estadístico de licencia libre Excel para determinar el valor crítico.

**Tabla 20**

Valor crítico para los experimentos.

Valor crítico del estadístico F	
Grados de libertad del numerador. (k-1)	2
Grados de libertad del denominador. (n-k)	13
Nivel de significancia.	5%
Valor de prueba Fisher.	3.81

*Nota:* La variable k representa los factores involucrados. La variable n representa la cantidad de muestras para cada experimento. La fórmula usada para el programa es “=INV.F(1-nivel de significancia; GL del numerador; GL del denominador)”. El valor de prueba Fisher aplica para los dos DOE a estudiar.

#### 6.4.4 Reglas de decisión.

Obtenido el resultado del punto 6.4.3, se procede a plantear las reglas de decisión para aceptar o rechazar las hipótesis planteadas en el punto 6.1.3. esto ayudará a fijarse en los efectos o interacciones más importantes para posibles optimizaciones del sistema. Para ambos sistemas experimentales se expresan las siguientes reglas de decisión.

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

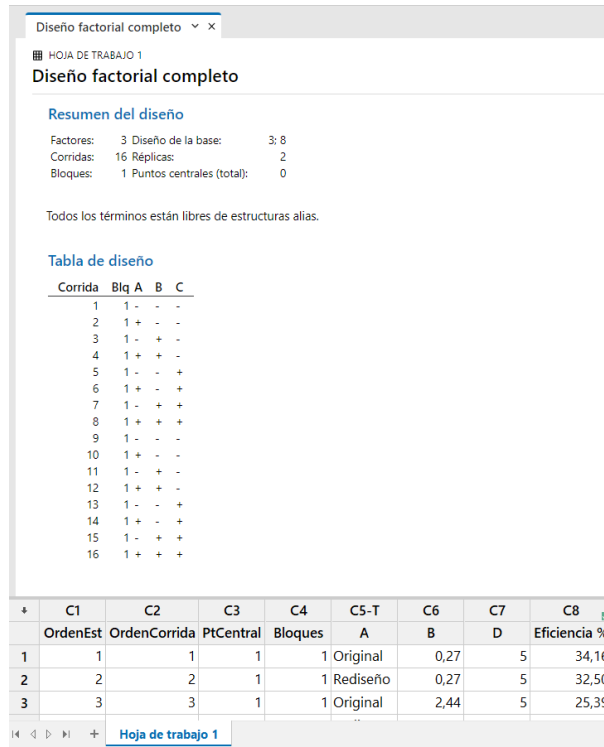
*Si Valor F < Valor crítico ∴ Se acepta la  $H_0$  y se rechaza la  $H_A$*

#### 6.4.5 Implementación de programa computacional especializado estadístico.

Para el análisis de los DOE se aplicará el “Minitab 19”, se declaran las variables de cada arreglo con sus respectivos niveles y valores. El programa al terminar de compilar la información proporcionada un resumen del diseño de experimento a realizar.



**Figura 45**  
Declaración del DOE planteado en el punto 6.4.



*Nota:* El DOE de la figura es la combinación ABD vs Eficiencia, pero la combinación ACD vs Eficiencia tiene características iguales.

Hecho lo anterior, se analiza el diseño experimental según lo planteado en el punto 6.4 donde obtendremos la tabla ANOVA y los coeficientes de medias reconociendo que factores o combinaciones de factores es de mayor importancia para determinar la eficiencia.

#### 6.4.5.1 Análisis del ANOVA.

La información proporcionada por el programa es la siguiente:

**Tabla 21**  
*Análisis de modelo medias vs. A; B; D: Coeficientes estimados.*

Término	Coef	EE del coef.	T	P
Constante	33,2600	0,4825	68,933	0,009
A Original	-0,2250	0,4825	-0,466	0,722
B 0,27	3,9250	0,4825	8,135	0,078
D 5	-3,8950	0,4825	-8,073	0,078
A*B Original 0,27	-0,2325	0,4825	-0,482	0,714
A*D Original 5	0,4650	0,4825	0,964	0,512
B*D 0,27 5	0,0750	0,4825	0,155	0,902

**Tabla 22***Análisis de modelo medias vs. A; B; D: Resumen del modelo.*

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)
1,3647	99,25%	94,77%

**Tabla 23***Análisis de modelo medias vs. A; B; D: Análisis de varianza de medias.*

Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	MC Ajust.	F	P
A	1	0,405	0,405	0,405	0,22	0,722
B	1	123,245	123,245	123,245	66,17	0,078
D	1	121,368	121,368	121,368	65,17	0,078
A*B	1	0,432	0,432	0,432	0,23	0,714
A*D	1	1,730	1,730	1,730	0,93	0,512
B*D	1	0,045	0,045	0,045	0,02	0,902
Error residual	1	1,862	1,862	1,862		
Total	7	249,088				

Como se observa en la tabla 20, Los efectos principales tienen una mayor relevancia, pero los efectos B y D, es decir, distancia de frenado y velocidad son cruciales para mejorar la eficiencia. Por otra parte, las interacciones son irrelevantes para que el sistema mejore. Con el programa tenemos un mayor índice de confianza de la información del 99.25% según expresa la tabla 21.

**Tabla 24***Análisis de modelo medias vs. A; C; D: Coeficientes estimados.*

Término	Coef	EE del coef.	T	P
Constante	34,0056	0,1756	193,626	0,003
A Original	-0,8119	0,1756	-4,623	0,136
D 5	-4,0344	0,1756	-22,972	0,028
C 0,39	3,2431	0,1756	18,466	0,034
A*D Original 5	0,2381	0,1756	1,356	0,405
A*C Original 0,39	0,0831	0,1756	0,473	0,719
D*C 5 0,39	-0,4394	0,1756	-2,502	0,242

**Tabla 25***Análisis de modelo medias vs. A; C; D: Resumen del modelo.*

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)
0,4967	99,89%	99,22%

**Tabla 26***Análisis de modelo medias vs. A; C; D: Análisis de varianza de medias.*

Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	MC Ajust.	F	P
A	1	5,273	5,273	5,273	2,137	0,136
D	1	130,209	130,209	130,209	52,769	0,028
C	1	84,143	84,143	84,143	34,100	0,034
A*D	1	0,454	0,454	0,454	1,84	0,405
A*C	1	0,055	0,055	0,055	0,22	0,719
D*C	1	1,544	1,544	1,544	3,26	0,242
Error residual	1	0,247	0,247	0,247		
Total	7	221,926				

En el modelo ACD muestra ser un sistema con una confiabilidad 99.89% según la tabla 24, además, tiene un diseño experimental de mayor precisión para los efectos principales. Sin embargo, al igual que el caso anterior las interacciones son despreciables para un análisis más minucioso. El efecto del tipo de disco por el momento no representa una mejora en la eficiencia de frenado al experimentar en estas condiciones.

#### 6.4.5.2 Hipótesis aceptadas.

Revisando los resultados del punto 6.4.5.1, Tabla 23 Análisis de modelo medias vs. A; B; D: Análisis de varianza de medias.y tabla 25, y comparando con el valor F del punto 6.4.3 se concluye lo siguiente:

*Si Valor  $F > Valor\ crítico \therefore Se\ rechaza\ la\ H_0\ y\ se\ acepta\ la\ H_A$*

*Si Valor  $F < Valor\ crítico \therefore Se\ acepta\ la\ H_0\ y\ se\ rechaza\ la\ H_A$*

**Tabla 27.**

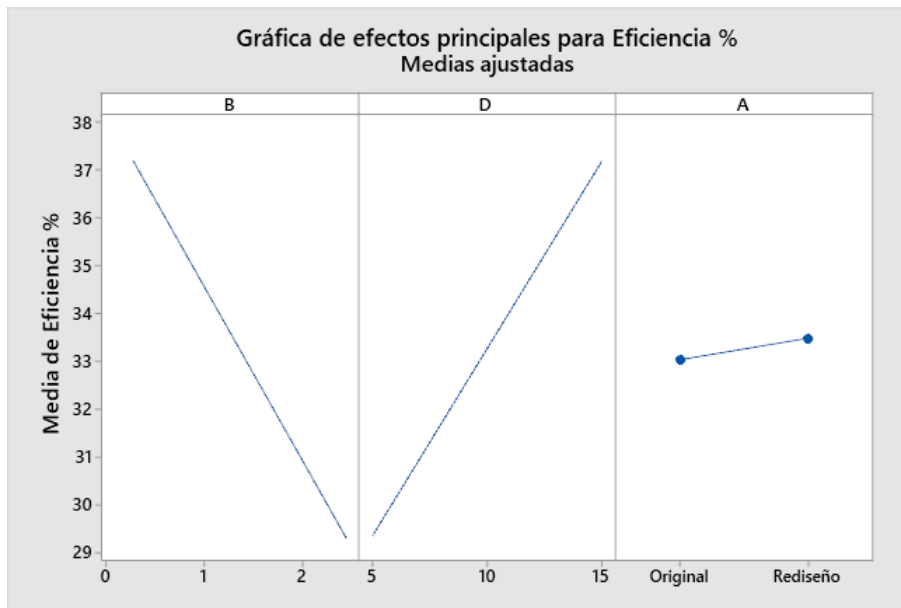
*Hipótesis aceptadas según la regla de decisión.*

<b>Modelo del análisis</b>	<b>Decisión</b>
ABD vs Media de eficiencia.	A: <i>Valor <math>F = 3,81 &lt; Valor\ crítico = 0,32 \therefore</math> Se acepta la <math>H_0</math> y se rechaza la <math>H_A</math></i>
	B: <i>Si Valor <math>F = 3,81 &gt; Valor\ crítico = 66,17 \therefore</math> Se rechaza la <math>H_0</math> y se acepta la <math>H_A</math></i>
	D: <i>Si Valor <math>F = 3,81 &gt; Valor\ crítico = 65,17 \therefore</math> Se rechaza la <math>H_0</math> y se acepta la <math>H_A</math></i>
ACD vs Media de eficiencia.	A: <i>Si Valor <math>F = 3,81 &lt; Valor\ crítico = 2,13 \therefore</math> Se acepta la <math>H_0</math> y se rechaza la <math>H_A</math></i>
	C: <i>Si Valor <math>F = 3,81 &gt; Valor\ crítico = 34,1 \therefore</math> Se rechaza la <math>H_0</math> y se acepta la <math>H_A</math></i>
	D: <i>Si Valor <math>F = 3,81 &gt; Valor\ crítico = 57,76 \therefore</math> Se rechaza la <math>H_0</math> y se acepta la <math>H_A</math></i>

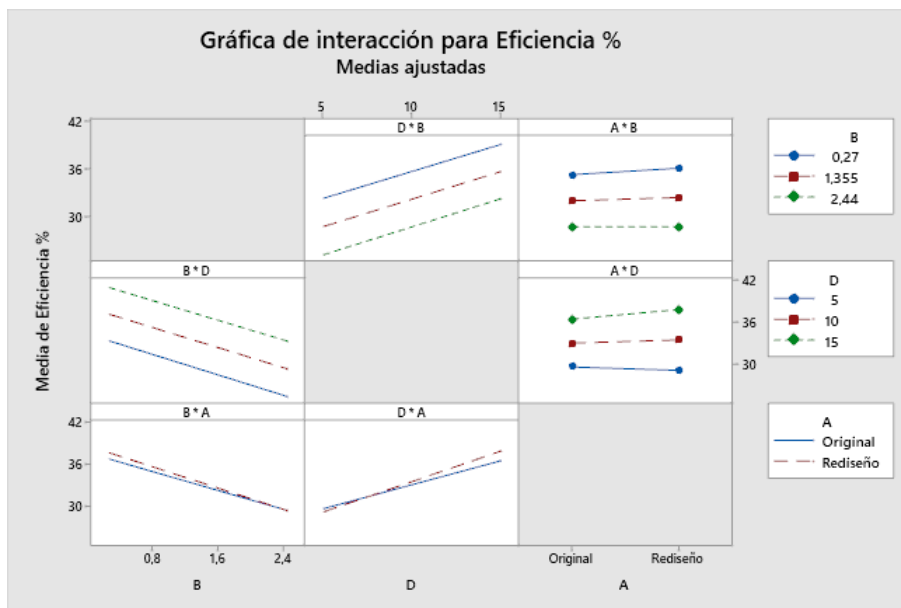
#### 6.4.5.3 Interacción entre los factores.

En las tablas ANOVA se observaron los efectos de relevancia para el modelo, sin embargo, reconocer el comportamiento de cada factor y la magnitud es importante. Estas graficas ayudaran a denotar si el elemento rediseñado tiene un mayor impacto al análisis que el disco original.

**Figura 46**  
*Efectos principales para el modelo ABD vs Eficiencia.*

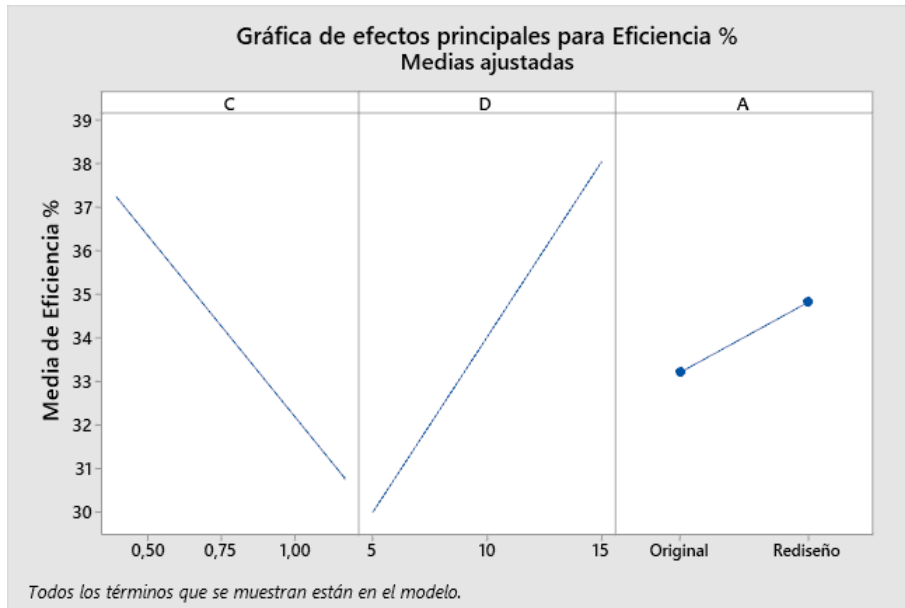


**Figura 47**  
*Interacción entre factores del modelo ABD vs Eficiencia.*

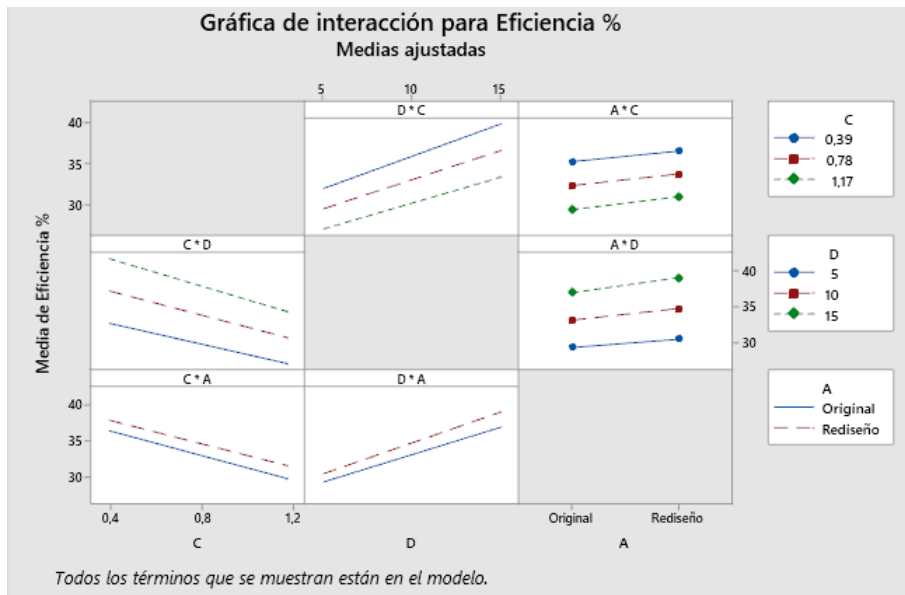


Para el modelo experimental ABD se observa que los factores principales D y B tienen la misma importancia para obtener la eficiencia de frenado y que el sistema rediseñado, al igual que los cálculos teóricos y computacionales del punto 57 y 60, tiene mejor desempeño según la figura 43. Por otra parte, en la figura 44 las interacciones muestran que a mayor velocidad el disco rediseñado tiene una mejor respuesta de eficiencia y las interacciones con la distancia de frenado y velocidad del vehículo son importantes a mayores velocidades.

**Figura 48**  
*Efectos principales para el modelo ACD vs Eficiencia.*



**Figura 49**  
*Interacción entre factores del modelo ACD vs Eficiencia.*

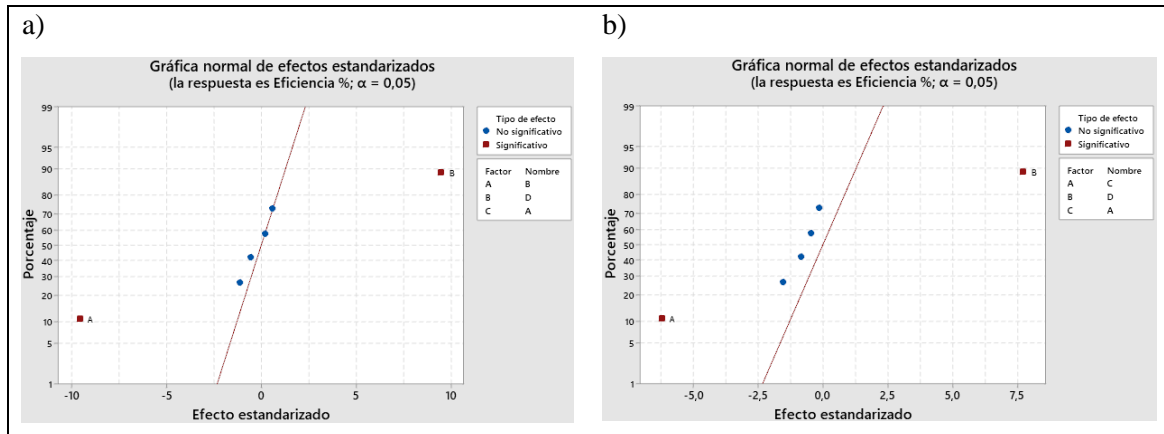


Al observar los factores principales del modelo ACD se notan una similitud en la importancia de la eficiencia de frenado. El tiempo resulta ser inversamente proporcional a la eficiencia y de menor importancia ante el factor de velocidad del vehículo. El factor A, al igual que modelo anterior, presenta una pequeña mejora con el elemento rediseñado. La figura 46 muestra que no existe disminución del tiempo de frenado con ningún disco, pero la eficiencia de frenado mejora significativamente a las velocidades del experimento.

Los efectos estandarizados corroboran lo analizado en el punto 6.4.5.2, es decir, los efectos B y D no se ajustan a la línea de distribución donde muestra que los factores son iguales a cero.

**Figura 50**

*Gráfica normal de efectos estandarizados de los experimentos.*

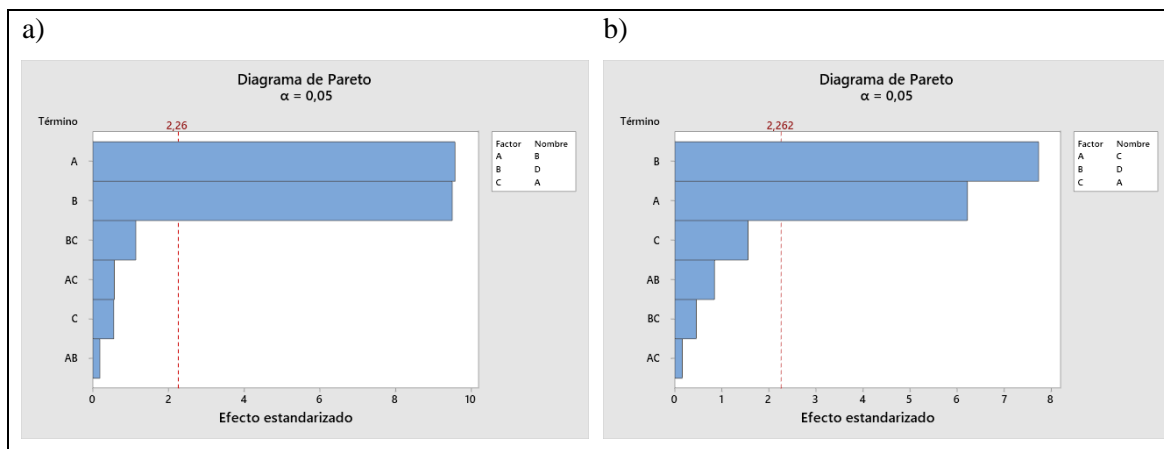


*Nota:* a) Efectos estandarizados del modelo ABD vs Eficiencia. b) Efectos estandarizados del modelo ACD vs. Eficiencia.

Para tener una mejor interpretación de efectos e interacciones podemos usar el diagrama de Pareto, 51, mostrando que efectos superan el umbral siendo significativos para los resultados finales. En el modelo ABD tenemos a distancia de recorrido y velocidad como efectos significativos, sin embargo, tanto el efecto principal como sus interacciones de tipo de disco presentan inconvenientes. Esto se puede observar de igual manera en el modelo ACD.

**Figura 51**

*Diagrama de Pareto de efectos estandarizados con nivel de significancia del 5%*



*Nota:* a) diagrama de Pareto de efectos estandarizados del modelo ABD vs Eficiencia. b) Diagrama de Pareto de efectos estandarizados del modelo ACD vs eficiencia.

Para poder identificar alguna anomalía en la adquisición de datos el programa estadístico nos proporciona gráficos de residuos para ver la distribución de los resultados a través de varios parámetros. En la figura 49 se muestran los resultados del modelo ABD donde se observan lo siguiente:

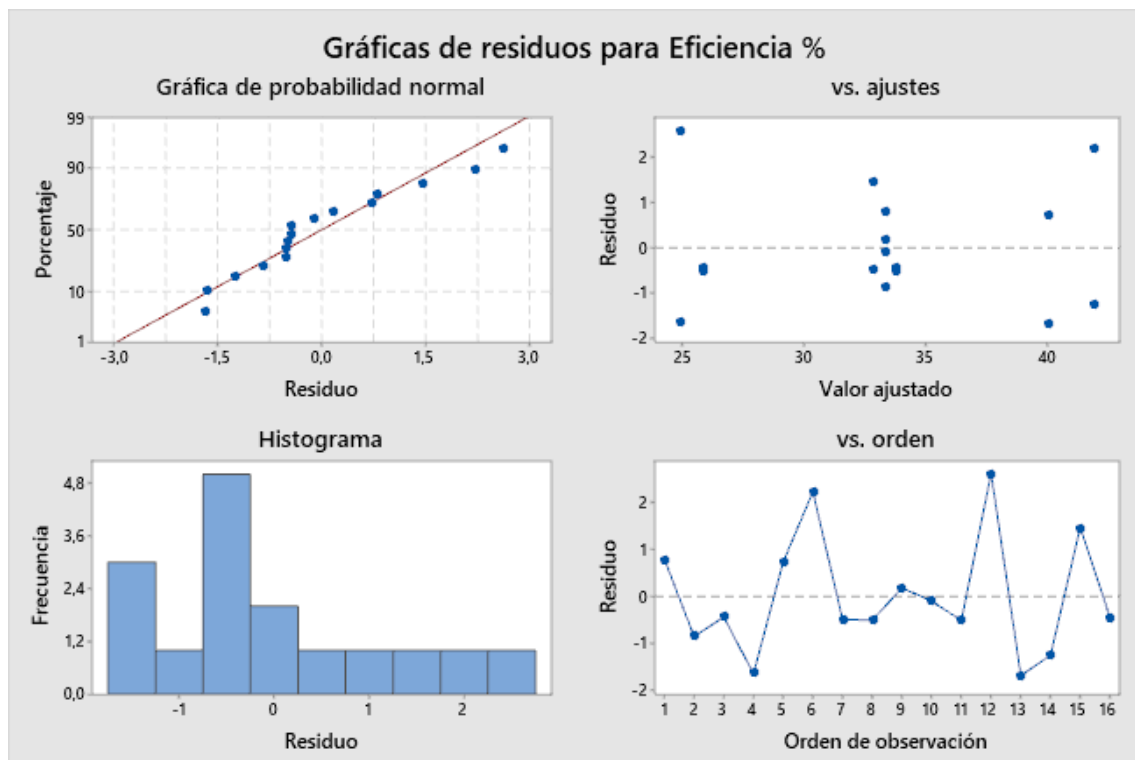
**Tabla 28**

*Observaciones en los residuos del experimento ABD vs Eficiencia.*

Tipo de gráfica.	Observaciones.
Probabilidad normal.	Los residuos se acoplan al modelo lineal, al no tener separaciones fuera de los límites del modelo nos asegura la validez de datos obtenidos para la experimentación.
vs. ajustes	Los residuos tienen un orden y están con un aspecto simétrico, es decir, no hay resultados atípicos
Histograma	Una distribución normal acampanada hacia la izquierda, los residuos no están tan separados.
vs. orden	El orden de la recolección es aleatorio.

**Figura 52**

*Conjunto de graficas de residuos del modelo ABD vs Eficiencia.*



El modelo ACD presenta resultados similares, figura 50, teniendo las siguientes observaciones:

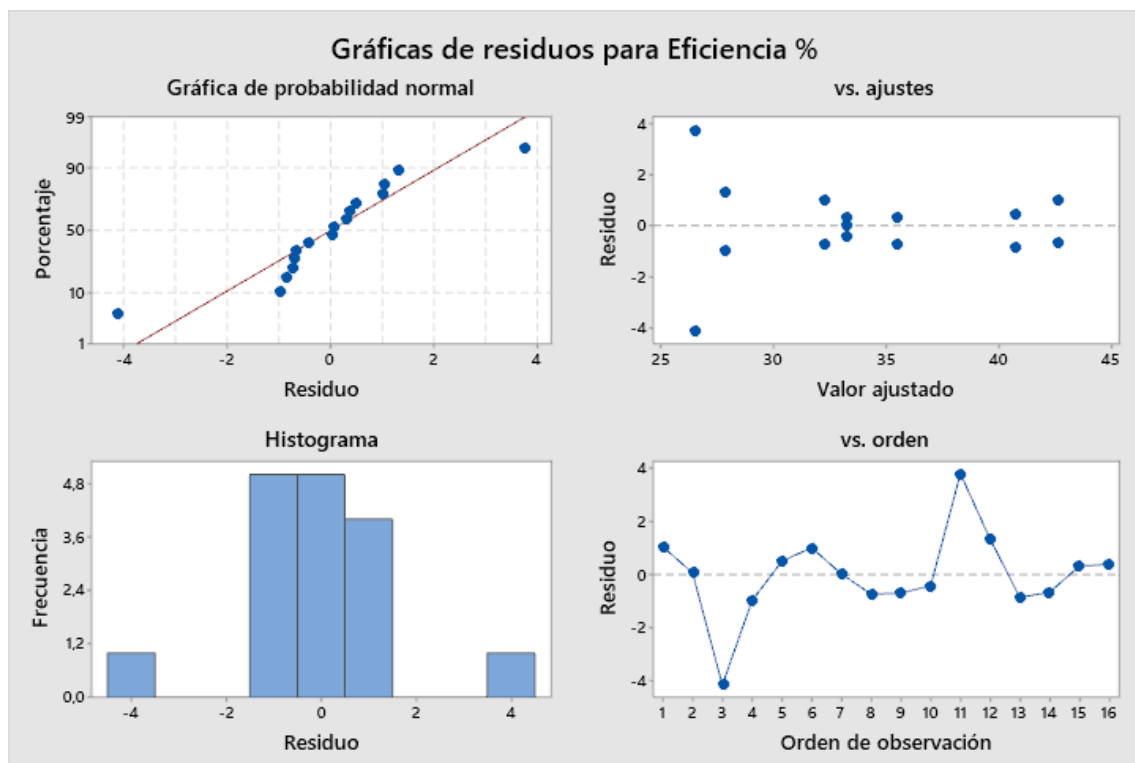
**Tabla 29**

*Observaciones en los residuos del experimento ACD vs Eficiencia.*

Tipo de gráfica.	Observaciones.
Probabilidad normal.	Los residuos se acoplan al modelo lineal, al no tener separaciones fuera de los límites del modelo nos asegura la validez de datos obtenidos para la experimentación.
vs. ajustes	Los residuos tienen un orden y están con un aspecto simétrico, es decir, no hay resultados atípicos
Histograma	Una distribución normal acampanada al centro, los residuos no están tan separados.
vs. orden	El orden de la recolección es aleatorio.

**Figura 53**

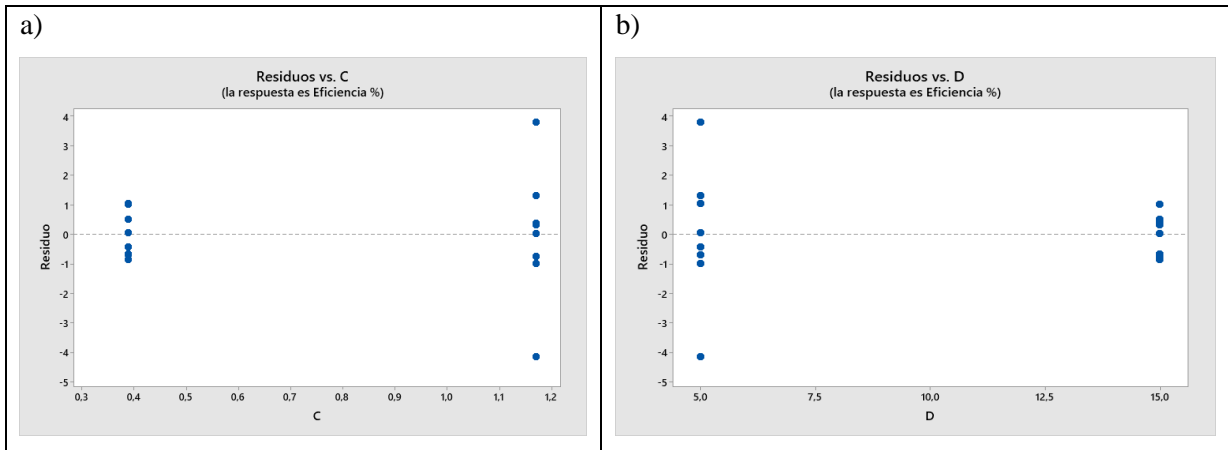
*Conjunto de graficas de residuos del modelo ACD vs Eficiencia.*



En las gráficas 54 y 55 podemos observar y confirmar que las varianzas de nuestros modelos (ABD) y (ACD) son constantes, debido a que los puntos están sobrepuestos y alineados en los valores de nuestras variables estudiadas.

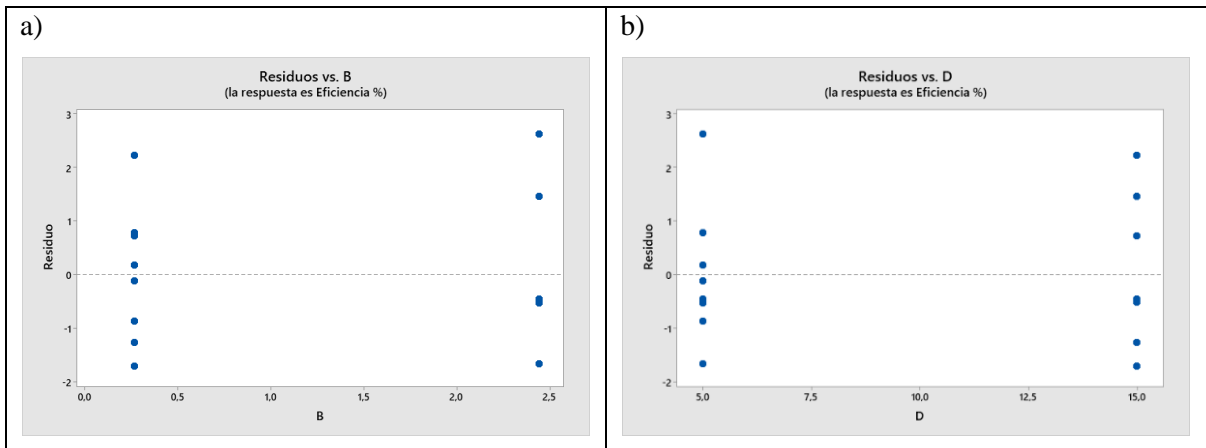


**Figura 54.**  
Residuos del Modelo ACD vs eficiencia.



Nota. En la gráfica a) se muestra el residuo versus el tiempo de frenado en la gráfica b) los residuos versus la velocidad.

**Figura 55.**  
Residuos del Modelo ABD vs eficiencia.



Nota. En la figura a) se muestra los residuos versus la distancia de frenado y en la figura b) se observa los residuos versus la velocidad.

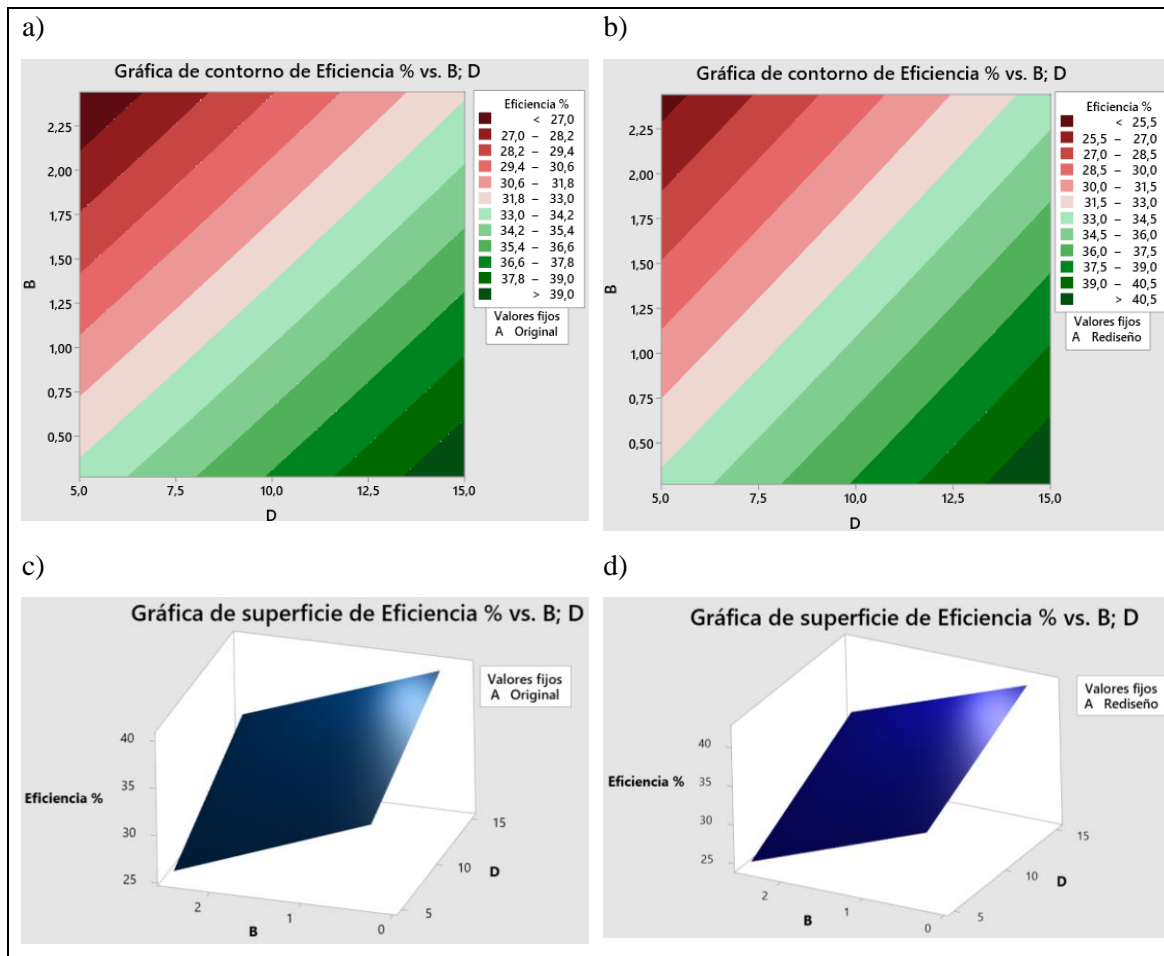
#### 6.4.5.4 Contornos y superficies de respuestas.

Con el fin de observar el comportamiento de eficiencia durante las pruebas de análisis gráfico de contornos y de superficies, estas denotan el rango de posibilidades del elemento tanto el tipo original como rediseñado. En cambio, las superficies muestran el aspecto de mejor eficiencia, de forma tridimensional y el pico significativo.

El modelo ABD muestra comportamientos lineales en el espectro de datos obtenidos, se observa una mejora significativa de eficiencia de frenado a altas velocidades y a bajas velocidades no existe una diferencia significativa con el disco de freno original. Por otra parte, las superficies de respuesta nos muestran un mejor rendimiento de eficiencia a través de todas las velocidades y distancias de frenado

**Figura 56**

Gráficas de contorno y superficie de respuesta del modelo ABD vs. Eficiencia.

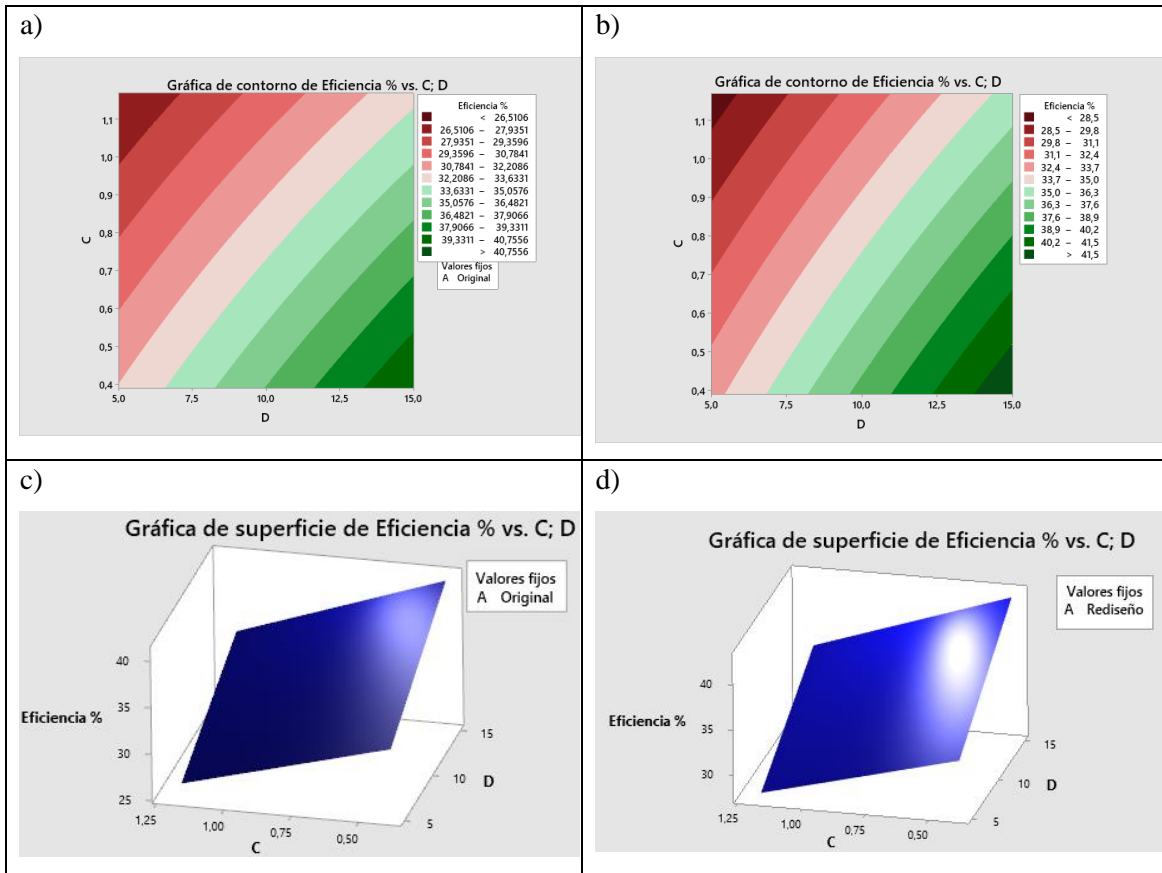


Nota: a) Gráfica de contorno de eficiencia del disco original. b) Gráfica de contorno de eficiencia del disco rediseñado. c) Gráfica de superficie de respuesta del disco original. d) Gráfica de superficie de respuesta del disco rediseñado.

El modelo ACD muestra comportamientos lineales en el espectro de datos obtenidos, se observa una mejora significativa de eficiencia entre tiempo de frenado y velocidad, esto quiere decir que si tenemos mayor velocidad el frenado ocurrirá en menor tiempo. Por otra parte, las superficies de respuesta nos muestran un mejor desempeño sobre el disco rediseñado a comparación del disco original en relación a las variables tiempo de frenado y velocidad.

**Figura 57.**

*Gráficas de contorno y superficie de respuesta del modelo ACD vs. Eficiencia.*



*Nota.* a) Gráfica de contorno de eficiencia del disco original. b) Gráfica de contorno de eficiencia del disco rediseñado. c) Gráfica de superficie de respuesta del disco original. d) Gráfica de superficie de respuesta del disco rediseñado.

## 7. Conclusiones.

Durante la búsqueda bibliográfica se ha ido estudiando diferentes variables que influyen en un sistema de frenos, la investigación parte primeramente de los modelos de disco de frenos que tienen la finalidad de mejorar el rendimiento al momento de frenar un vehículo, otra característica importante son los materiales utilizados para su fabricación, mismos que influyen en la generación de calor que pueden provocar diferentes problemas en los discos como Fading, Judder, hot Judder, calentamientos excesivos y desgastes prematuros. En el transcurso de la investigación se obtuvo información del INEN para realizar las pruebas según la normativa 2349:2003 que nos indica el equipo a utilizar y la normativa 2710 que nos indica los requerimientos y condiciones del vehículo.

Con la implementación de programas computacionales especializados CAD CAM se logró rediseñar el disco de frenos, como también precisar las tolerancias geométricas necesarias para disminuir esfuerzos tensionales y temperatura en la pista del disco de freno, los resultados de la simulación son favorables para el modelo rediseñado, en temperatura con reducción de 3°C del disco de freno, el flujo de calor se reduce a  $6,8883 \text{ e}^{-6} \text{ W/mm}^2$  y el volumen por temperatura máxima es  $22,70 \text{ mm}^3$  en todo el elemento. Por otra parte, la deformación total del elemento es prácticamente despreciable tanto para el disco original y rediseñado de 0,13mm y 0,15 mm respectivamente, el esfuerzo Von Mises para el elemento rediseñado es mayor siendo de 479,65 Mpa debido a la menor masa del elemento y mayor distribución de sus fuerzas en los ejes axiales.

Con el instrumento de medición Futur 2000 (frenómetro) se precisó de mejor manera el cálculo de eficiencia de frenado tomando en consideración al eje delantero del vehículo, además, el banco de medición ayudo con valores claves de la investigación como fuerzas de frenado impartidas en cada disco y fuerza de pie para la frenada; la adquisición de datos se planifico según la normativa INEN 2710 y el manual del frenómetro, satisfaciendo así el acondicionamiento del vehículo, las velocidades y tipo de frenado según Futur 2000. Los resultados experimentales DOE muestran que el disco rediseñado tiene mejor eficiencia de frenado según las condiciones de experimentación y muestran una tendencia directamente proporcional a la velocidad con la que se frena el elemento, sin embargo, por las condiciones de recolección de data el tipo de disco no resulto ser complemente relevante para el diseño experimental dejando

indicios de mejora a mayor temperatura. La eficiencia de frenado con los discos de frenos rediseñados es hasta un 40.5 % mientras que en los discos originales llegaba al 39 % solo en el primer eje, dejando un margen de eficiencia del 40 % extra que se encuentra en el eje trasero de acuerdo con el reparto de peso del automotor.

## **8. Recomendaciones.**

La investigación puede continuar con nuevas experimentaciones ya que existen diferentes formas de ventilar un disco de freno, sin omitir las zonas de fricción y que el objetivo sea alcanzar una temperatura optima de funcionamiento, de la misma forma se recomienda utilizar pastillas de freno nuevas y que todo el sistema de frenos este en buen estado para que los resultados a obtener sean idóneos.

Para nuevas experimentaciones se recomienda realizar pruebas en campo y con velocidades altas, por otra parte, para la adquisición de datos se recomienda usar un monitor infrarrojo Raytek para medir temperatura del disco de freno y otro sensor ABS el cual permitirá obtener datos sobre la desaceleración en la rueda, las mismas que son variables contrastables durante el diseño experimental.

Para un futuro estudio se recomienda seguir el diseño de los autores para no tener variaciones de eficiencia en el automotor, además, se podría analizar la eficiencia del disco con diferentes tipos de pastillas de freno siempre y cuando se obtenga el mejor desempeño del diseño.

## 9. Bibliografía.

- 3DCadPortal. (n.d.). *3DCadPortal*. ANSYS.
- Acero, I., & Calderón, E. (2019). *REDISEÑO DE UN DISCO DE FRENOS NORMAL A VENTILADO MEDIANTE MECANIZADO PARA LA COMPARACIÓN DE LA EFICIENCIA CON OTRO DISCO CONVENCIONAL*. <https://doi.org/UDCTFM;65T00323>
- ACERO IVÁN, & CALDERON EDWIN. (2019). *REDISEÑO DE UN DISCO DE FRENOS NORMAL A VENTILADO MEDIANTE MECANIZADO PARA LA COMPARACIÓN DE LA EFICIENCIA CON OTRO DISCO CONVENCIONAL*. <https://doi.org/UDCTFM;65T00323>
- Águeda Casado, E., Navarro, J. M., & Gómez Morales, T. (2012). *Sistema de Transmisión de Fuerzas y Trenes de Rodaje* (C. Lara Carmona, Ed.; 1st ed.). Ediciones Paraninfo. <https://www.casadellibro.com/libro-sistemas-de-transmision-de-fuerzas-y-trenes-de-rodaje/9788497328265/2002367>
- Álvarez Esteban, C., Hernández Manuel Ignacio, G., Pérez del Rio Mario, R., & Senovilla Juan Carlos, M. (2012). METODOLOGÍA DE TRABAJO PARA EL DISEÑO DE DISCOS DE FRENO. *Congreso Internacional Anual de La Somim*, XVIII. [http://somim.org.mx/memorias/memorias2012/articulos/pdfs/A1/A1\\_30.pdf](http://somim.org.mx/memorias/memorias2012/articulos/pdfs/A1/A1_30.pdf)
- Borja, J. C., Fenoll Jaime, & Herrera, J. S. (2009). *Sistemas de Transmisión y Frenado* (1st ed.). MACMILLAN Profesional. <https://bibliotecas.ups.edu.ec:3488/es/ereader/bibliotecaups/101834?page=1>
- Carpio, D. (2018). “*DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE FRENOS DE UN VEHÍCULO DE COMPETENCIA FORMULA SAE ELÉCTRICO*” [Universidad Politécnica Salesiana]. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/15358/1/UPS-CT007549.pdf>
- Carranza Sanchez, Y. A., & Alberto Pulido, R. (2003). Transferencia de Calor de Estado Inestable en Forros para Frenos. *SCIENTIA ET TECHNICA*, 4 ed., 76–82. [https://www.academia.edu/44190555/Transferencia\\_De\\_Calor\\_De\\_Estado\\_Inestable\\_en\\_Forros\\_Para\\_Frenos](https://www.academia.edu/44190555/Transferencia_De_Calor_De_Estado_Inestable_en_Forros_Para_Frenos)

- Centralauto. (2015). *FRENÓMETRO FUTUR 2000 MANUAL DE USUARIO*.
- Criado Ocaña, E. (2012). *DISEÑO Y CÁLCULO DEL SISTEMA DE FRENADO PARA UN PROTOTIPO FORMULA STUDENT* [Proyecto de Fin de Carrera, Universidad Carlos III de Madrid]. <http://hdl.handle.net/10016/14460>
- Domingo, A. (2011a). *Apuntes de mecànica de fluidos* (1st ed., Vol. 1). <https://oa.upm.es/6934/1/amd-apuntes-fluidos.pdf>
- Domingo, A. (2011b). *Apuntes de mecànica de fluidos* (1st ed., Vol. 1). <https://oa.upm.es/6934/1/amd-apuntes-fluidos.pdf>
- Espinoza-Molina, F. E., Ojeda-Romero, C. F., Zumba-Paucar, H. D., Pillajo-Quijia, G., Arenas-Ramírez, B., & Aparicio-Izquierdo, F. (2021). Road safety as a public health problem: Case of ecuador in the period 2000–2019. *Sustainability (Switzerland)*, *13*(14). <https://doi.org/10.3390/su13148033>
- Francisco, D., Vaca, S., Alexander, M., & Loayza, M. (n.d.). *Estudio de las presiones hidráulicas en un sistema de frenos ABS*. [UIDE]. Retrieved October 3, 2022, from <https://repositorio.uide.edu.ec/bitstream/37000/2491/3/T-UIDE-1783.pdf>
- García-León, R. A., & Flórez-Solano, E. (2017). Análisis dinámico de tres frenos de disco autoventilados. *Ingenieria e Investigacion*, *37*(3), 102–114. <https://doi.org/10.15446/ing.investig.v37n3.63381>
- Guasgua Jaime, A., Paredes Miguel, G., & Alarcón Santiago, O. (2018). ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA DE FRENADO CON BASE A LA CAPACIDAD DE CARGA EN UN VEHÍCULO CATEGORIA M1. *Revista Publicando*, *5*(16), 435–446. <https://revistapublicando.org/revista/index.php/crv/article/view/2019>
- Gutiérrez, H., & de la Vara, R. (n.d.). *Análisis y diseño de experimentos*. (The McGraw-Hill, Ed.; 3rd ed.). The McGraw-Hill.
- Incropera, F. P., & DeWitt, D. (1999). *Fundamentos de Transferencia de Calor* (Pablo Eduardo Roig Vázquez, Ed.; PERSON Educación, Vol. 4). Prentice HALL.

[https://www.academia.edu/36019670/Fundamentos\\_de\\_transferencia\\_de\\_calor\\_y\\_de\\_masa\\_4ta](https://www.academia.edu/36019670/Fundamentos_de_transferencia_de_calor_y_de_masa_4ta)

INEN. (2003). *NTE INEN 2349:2003 REVISIÓN TÉCNICA VEHICULAR. PROCEDIMIENTOS*. <https://doi.org/43.020>

Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN. (2013). *NTE INEN 2710 VEHÍCULOS AUTOMOTORES. SISTEMA DE FRENADO PARA VEHICULOS DE CATEGORIAS M, N y O. REQUISITOS Y MÉTODOS DE ENSAYO NORMA TÉCNICA ECUATORIANA*.

ISUZU. (1998). *Manual de taller ISUZU KB TF 140* (1st ed., Vol. 1). [https://manuals.opinautos.com/published/Chevrolet-LUV\\_2001\\_EN\\_\\_manual\\_de\\_taller\\_307c23e790.pdf](https://manuals.opinautos.com/published/Chevrolet-LUV_2001_EN__manual_de_taller_307c23e790.pdf)

Jiménez Escobar, C. O., & Medina Gonzáles, J. A. (2012). *Análisis y Diseño de un Disco de Frenos de una Unidad Mini baja* [Grado, Instituto Politécnico Nacional]. <https://tesis.ipn.mx/jspui/bitstream/123456789/12165/1/1787%202012.pdf>

José, E., & Ferrer, D.-J. (2012). *Sistemas de transmisión y frenado* (J. Ablanque, Ed.; 1st ed.). Editorial EDITEX. <http://190.57.147.202:90/xmlui/handle/123456789/2412>

Luque Rodríguez, Pablo., Álvarez Mántaras, D., & Vera, C. (2004). *Ingeniería del automóvil : sistemas y comportamiento dinámico* (1st ed.). Thomson.

Maldonado, R. O., & Neira, E. M. (2019). *ANÁLISIS DE LOS ACCIDENTES DE TRÁNSITO PROVOCADOS POR FALLAS MECÁNICAS EN LOS VEHÍCULOS DE LA CATEGORÍA NI Y DE LA SUBCATEGORÍA M3 TIPO BUS, EN EL CANTÓN CUENCA-ECUADOR* [Universidad Politécnica Salesiana]. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/17610>

Montero-Salgado, J. P., Muñoz-Sanz, J., Arenas-Ramírez, B., & Alén-Cordero, C. (2022). Identification of the Mechanical Failure Factors with Potential Influencing Road Accidents in Ecuador. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(13), 7787. <https://doi.org/10.3390/ijerph19137787>



- Prieto Castellanos, B. J. (2018). El uso de los métodos deductivo e inductivo para aumentar la eficiencia del procesamiento de adquisición de evidencias digitales. *Cuadernos de Contabilidad*, 18(46).  
<https://doi.org/10.11144/javeriana.cc18-46.umdi>
- Rojas, V., Pancha, J., Romero, V., & Lema, J. (2020). Análisis de la eficiencia de un disco de freno convencional ventilado con respecto a un disco hiperventilado mediante mecanizado. *I*, 1.  
<https://doi.org/10.17163/ings.n25.2020.06>
- Sánchez Lorenzo, S. (2018). *PROPUESTA DE DISEÑO PARA DISCO DE FRENO VENTILADO* [Universidad de Valladolid ].  
<http://uvadoc.uva.es/handle/10324/31290>
- Sepúlveda, E. (2016, July 9). *Fricción*.  
<https://www.fisicaenlinea.com/06fuerzas/fuerzas03-friccion.html>
- SOLIDWORKS. (n.d.). *SOLIDBI*. SOLIDWORKS. Qué Es y Para Qué Sirve.
- Talati, F., & Jalalifar, S. (2009). Analysis of heat conduction in a disk brake system. *Heat and Mass Transfer/Waerme- Und Stoffuebertragung*, 45(8), 1047–1059. <https://doi.org/10.1007/s00231-009-0476-y>
- Trujillo, F., Pozo, A., & Triviño, A. (2011). *DISIPACIÓN DE CALOR* (Vol. 1).  
<http://ocw.uma.es>
- Velásquez, J. C., & Heras, C. (2012). *DISEÑO, CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE VENTILACIÓN PARA LOS DISCOS DE FRENO DE UN VEHÍCULO Y SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA*. Universidad Politécnica Salesian.

## 10. Anexos.

### Anexo 1

#### Código G extraído del programa CAM

O0111 (SE REALIZARA EL PERFORADO DE 12 ORIFICIOS A 5 MM DE DIAMETRO)	N180 X-5.071 Y10.876
(T4 D=3.5 CR=0. TAPER=118DEG - ZMIN=-24. - DRILL)	N185 X-5.072 Y10.875
(T5 D=5. CR=0. TAPER=118DEG - ZMIN=-24. - DRILL)	N190 X-5.071 Y10.876
N10 G90 G94 G17 G49 G40 G80	N195 X72.798 Y-59.686
N15 G21	N200 X-5.071 Y-10.876
N20 G28 G91 Z0.	N205 X-5.072 Y-10.876
N25 G90	N210 X-5.071 Y-10.876
	N215 X-5.072 Y-10.875
	N220 X-5.071 Y-10.876
	N225 X0.916 Y-21.313
	N230 X6.883 Y9.829
	N235 X6.883 Y9.83
(DRILL3)	N240 X6.883 Y9.83
N30 T4 M06	N245 X6.883 Y9.83
N35 T5	N250 X6.883 Y9.83
N40 S5000 M03	N255 X-15.291 Y-92.889
N45 G54	N260 X-11.955 Y-1.045
N50 M08	N265 X-11.954 Y-1.046
N55 G00 X-100.772 Y64.321	N270 X-11.954 Y-1.046
N60 G43 Z50. H04	N275 X-11.955 Y-1.046
N65 G91	N280 X-11.954 Y-1.046
N70 G00 Z-45.	N285 X-18. Y-11.45
N75 G98 G81 X0. Y0. Z-27. R-2. F451.	N290 X11.954 Y-1.046
N80 X11.955 Y1.045	N295 X11.955 Y-1.046
N85 X11.954 Y1.046	N300 X11.954 Y-1.046
N90 X11.954 Y1.046	N305 X11.954 Y-1.045
N95 X11.955 Y1.046	N310 X11.955 Y-1.046
N100 X11.954 Y1.046	N315 X-88.089 Y-33.202
N105 X18. Y11.45	N320 X-6.883 Y9.83
N110 X-11.954 Y1.046	N325 X-6.883 Y9.83
N115 X-11.955 Y1.046	N330 X-6.883 Y9.829
N120 X-11.954 Y1.046	N335 X-6.883 Y9.83
N125 X-11.954 Y1.045	N340 X-6.883 Y9.83
N130 X-11.955 Y1.046	N345 X-18.916 Y9.863
N135 X88.089 Y33.202	N350 X5.071 Y-10.875
N140 X6.883 Y-9.83	N355 X5.072 Y-10.876
N145 X6.883 Y-9.83	N360 X5.071 Y-10.876
N150 X6.883 Y-9.829	N365 X5.072 Y-10.875
N155 X6.883 Y-9.83	N370 X5.071 Y-10.876
N160 X6.883 Y-9.83	N375 X-72.798 Y59.686
N165 X18.916 Y-9.863	N380 X5.071 Y10.876
N170 X-5.071 Y10.875	N385 X5.072 Y10.876
N175 X-5.072 Y10.876	N390 X5.071 Y10.876

N395 X5.072 Y10.875  
N400 X5.071 Y10.876  
N405 X-0.916 Y21.313  
N410 X-6.883 Y-9.829  
N415 X-6.883 Y-9.83  
N420 X-6.883 Y-9.83  
N425 X-6.883 Y-9.83  
N430 X-6.883 Y-9.83  
N435 G80  
N440 Z45.  
N445 M09  
N450 G90  
N455 M05  
N460 G28 G91 Z0.  
N465 G90  
N470 G49

(DRILL3 2)

N475 M01  
N480 T5 M06  
N485 T4  
N490 S5820 M03  
N495 G54  
N500 G00 X-100.772 Y64.321  
N505 G43 Z50. H05  
N510 G91  
N515 G00 Z-45.  
N520 G81 X0. Y0. Z-27. R-2. F728.  
N525 X11.955 Y1.045  
N530 X11.954 Y1.046  
N535 X11.954 Y1.046  
N540 X11.955 Y1.046  
N545 X11.954 Y1.046  
N550 X18. Y11.45  
N555 X-11.954 Y1.046  
N560 X-11.955 Y1.046  
N565 X-11.954 Y1.046  
N570 X-11.954 Y1.045  
N575 X-11.955 Y1.046  
N580 X88.089 Y33.202  
N585 X6.883 Y-9.83  
N590 X6.883 Y-9.83  
N595 X6.883 Y-9.829  
N600 X6.883 Y-9.83  
N605 X6.883 Y-9.83  
N610 X18.916 Y-9.863  
N615 X-5.071 Y10.875  
N620 X-5.072 Y10.876

N625 X-5.071 Y10.876  
N630 X-5.072 Y10.875  
N635 X-5.071 Y10.876  
N640 X72.798 Y-59.686  
N645 X-5.071 Y-10.876  
N650 X-5.072 Y-10.876  
N655 X-5.071 Y-10.876  
N660 X-5.072 Y-10.875  
N665 X-5.071 Y-10.876  
N670 X0.916 Y-21.313  
N675 X6.883 Y9.829  
N680 X6.883 Y9.83  
N685 X6.883 Y9.83  
N690 X6.883 Y9.83  
N695 X6.883 Y9.83  
N700 X-15.291 Y-92.889  
N705 X-11.955 Y-1.045  
N710 X-11.954 Y-1.046  
N715 X-11.954 Y-1.046  
N720 X-11.955 Y-1.046  
N725 X-11.954 Y-1.046  
N730 X-18. Y-11.45  
N735 X11.954 Y-1.046  
N740 X11.955 Y-1.046  
N745 X11.954 Y-1.046  
N750 X11.954 Y-1.045  
N755 X11.955 Y-1.046  
N760 X-88.089 Y-33.202  
N765 X-6.883 Y9.83  
N770 X-6.883 Y9.83  
N775 X-6.883 Y9.829  
N780 X-6.883 Y9.83  
N785 X-6.883 Y9.83  
N790 X-18.916 Y9.863  
N795 X5.071 Y-10.875  
N800 X5.072 Y-10.876  
N805 X5.071 Y-10.876  
N810 X5.072 Y-10.875  
N815 X5.071 Y-10.876  
N820 X-72.798 Y59.686  
N825 X5.071 Y10.876  
N830 X5.072 Y10.876  
N835 X5.071 Y10.876  
N840 X5.072 Y10.875  
N845 X5.071 Y10.876  
N850 X-0.916 Y21.313  
N855 X-6.883 Y-9.829  
N860 X-6.883 Y-9.83

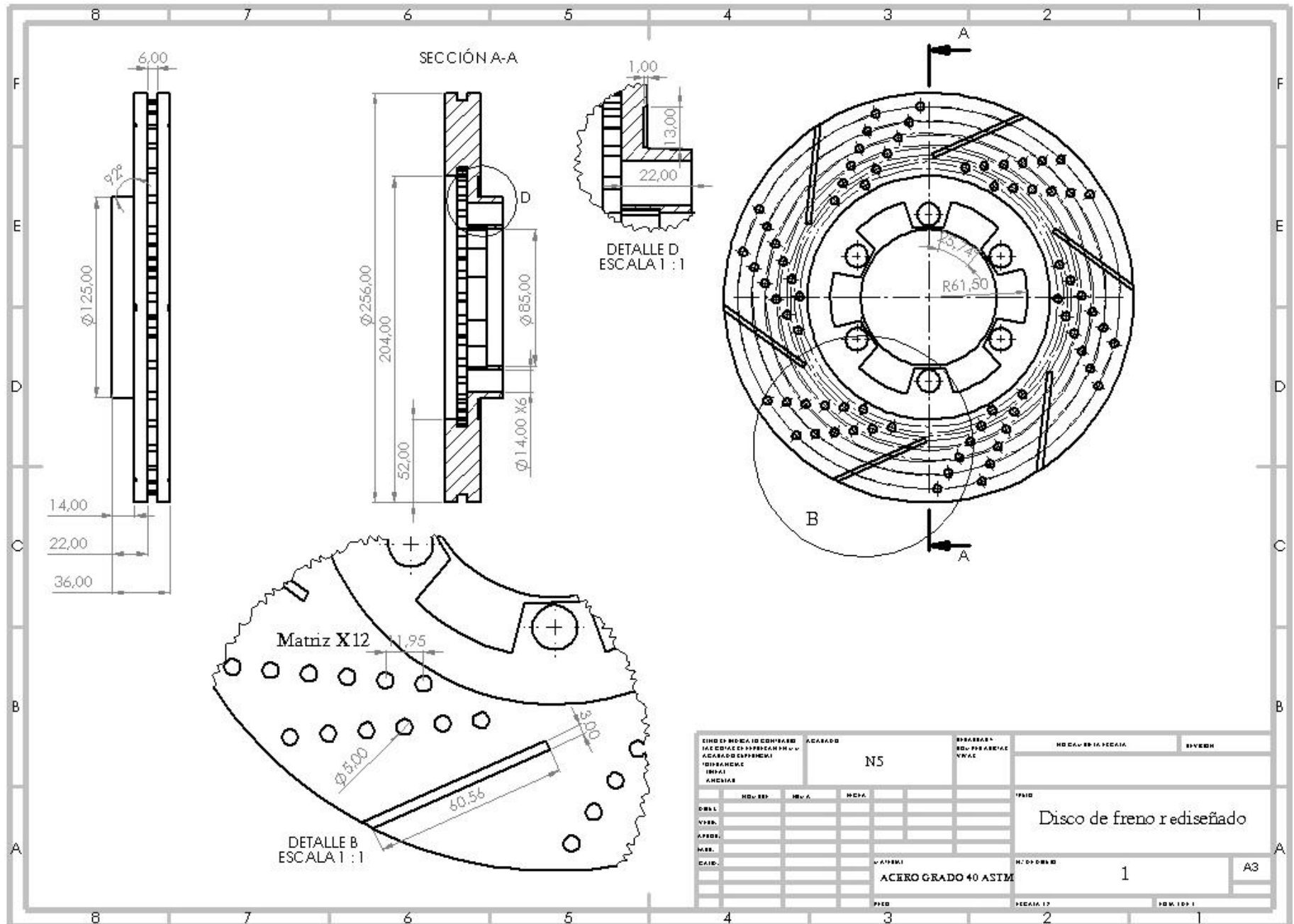
N865 X-6.883 Y-9.83  
 N870 X-6.883 Y-9.83  
 N875 X-6.883 Y-9.83  
 N880 G80  
 N885 Z45.  
 N890 G90

N895 G28 G91 Z0.  
 N900 G49  
 N905 G28 X0. Y0.  
 N910 M30  
 %

**Anexo 2**  
**Tabla Fisher.**

		Grados de libertad en el numerador																							
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	20	25	30	40	50	75	100	∞	
Grados de libertad en el denominador	1	161	199	216	225	230	234	237	239	241	242	243	244	245	245	246	248	249	250	251	252	253	253	254	
	2	18.5	19.0	19.2	19.2	19.3	19.3	19.4	19.4	19.4	19.4	19.4	19.4	19.4	19.4	19.4	19.4	19.5	19.5	19.5	91.5	19.5	19.5	19.5	19.5
	3	10.1	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81	8.79	8.76	8.74	8.73	8.71	8.70	8.66	8.63	8.62	8.59	8.58	8.56	8.55	8.53	
	4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00	5.96	5.94	5.91	5.89	5.87	5.86	5.80	5.77	5.75	5.72	5.70	5.68	5.66	5.63	
	5	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77	4.74	4.70	4.68	4.66	4.64	4.62	4.56	4.52	4.50	4.46	4.44	4.42	4.41	4.37	
	6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10	4.06	4.03	4.00	3.98	3.96	3.94	3.87	3.83	3.81	3.77	3.75	3.73	3.71	3.67	
	7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.64	3.60	3.57	3.55	3.53	3.51	3.44	3.40	3.38	3.34	3.32	3.29	3.27	3.23	
	8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39	3.35	3.31	3.28	3.26	3.24	3.22	3.15	3.11	3.08	3.04	3.02	2.99	2.97	2.93	
	9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18	3.14	3.10	3.07	3.05	3.03	3.01	2.94	2.89	2.86	2.83	2.80	2.77	2.76	2.71	
	10	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	2.98	2.94	2.91	2.89	2.86	2.85	2.77	2.73	2.70	2.66	2.64	2.60	2.59	2.54	
	11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90	2.85	2.82	2.79	2.76	2.74	2.72	2.65	2.60	2.57	2.53	2.51	2.47	2.46	2.41	
	12	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80	2.75	2.72	2.69	2.66	2.64	2.62	2.54	2.50	2.47	2.43	2.40	2.37	2.35	2.30	
	13	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71	2.67	2.63	2.60	2.58	2.55	2.53	2.46	2.41	2.38	2.34	2.31	2.28	2.26	2.21	
	14	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65	2.60	2.57	2.53	2.51	2.48	2.46	2.39	2.34	2.31	2.27	2.24	2.21	2.19	2.13	
	15	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.71	2.64	2.59	2.54	2.51	2.48	2.45	2.42	2.40	2.33	2.28	2.25	2.20	2.18	2.14	2.12	2.07	
	16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54	2.49	2.46	2.42	2.40	2.37	2.35	2.28	2.23	2.19	2.15	2.12	2.09	2.07	2.01	
	17	4.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.61	2.55	2.49	2.45	2.41	2.38	2.35	2.33	2.31	2.23	2.18	2.15	2.10	2.08	2.04	2.02	1.96	
	18	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46	2.41	2.37	2.34	2.31	2.29	2.27	2.19	2.14	2.11	2.06	2.04	2.00	1.98	1.92	
	19	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42	2.38	2.34	2.31	2.28	2.26	2.23	2.16	2.11	2.07	2.03	2.00	1.96	1.94	1.88	
	20	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45	2.39	2.35	2.31	2.28	2.25	2.22	2.20	2.12	2.07	2.04	1.99	1.97	1.93	1.91	1.84	
	21	4.32	3.47	3.07	2.84	2.68	2.57	2.49	2.42	2.37	2.32	2.28	2.25	2.22	2.20	2.18	2.10	2.05	2.01	1.96	1.94	1.90	1.88	1.81	
	22	4.30	3.44	3.05	2.82	2.66	2.55	2.46	2.40	2.34	2.30	2.26	2.23	2.20	2.17	2.15	2.07	2.02	1.98	1.94	1.91	1.87	1.85	1.78	
	23	4.28	3.42	3.03	2.80	2.64	2.53	2.44	2.37	2.32	2.27	2.24	2.20	2.18	2.15	2.13	2.05	2.00	1.96	1.91	1.88	1.84	1.82	1.76	
	24	4.26	3.40	3.01	2.78	2.62	2.51	2.42	2.36	2.30	2.25	2.22	2.18	2.15	2.13	2.11	2.03	1.97	1.94	1.89	1.86	1.82	1.80	1.73	
	25	4.24	3.39	2.99	2.76	2.60	2.49	2.40	2.34	2.28	2.24	2.20	2.16	2.14	2.11	2.09	2.01	1.96	1.92	1.87	1.84	1.80	1.78	1.71	
	26	4.23	3.37	2.98	2.74	2.59	2.47	2.39	2.32	2.27	2.22	2.18	2.15	2.12	2.09	2.07	1.99	1.94	1.90	1.85	1.82	1.78	1.76	1.69	
	27	4.21	3.35	2.96	2.73	2.57	2.46	2.37	2.31	2.25	2.20	2.17	2.13	2.10	2.08	2.06	1.97	1.92	1.88	1.84	1.81	1.76	1.74	1.67	
	28	4.20	3.34	2.95	2.71	2.56	2.45	2.36	2.29	2.24	2.19	2.15	2.12	2.09	2.06	2.04	1.96	1.91	1.87	1.82	1.79	1.75	1.73	1.65	
	29	4.18	3.33	2.93	2.70	2.55	2.43	2.35	2.28	2.22	2.18	2.14	2.10	2.08	2.05	2.03	1.94	1.89	1.85	1.81	1.77	1.73	1.71	1.64	
	30	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.33	2.27	2.21	2.16	2.13	2.09	2.06	2.04	2.01	1.93	1.88	1.84	1.79	1.76	1.72	1.70	1.62	
40	4.08	3.23	2.84	2.61	2.45	2.34	2.25	2.18	2.12	2.08	2.04	2.00	1.97	1.95	1.92	1.84	1.78	1.74	1.69	1.66	1.61	1.59	1.51		
60	4.00	3.15	2.76	2.53	2.37	2.25	2.17	2.10	2.04	1.99	1.95	1.92	1.89	1.86	1.84	1.75	1.69	1.65	1.59	1.56	1.51	1.48	1.39		
100	3.94	3.09	2.70	2.46	2.31	2.19	2.10	2.03	1.97	1.93	1.89	1.85	1.82	1.79	1.77	1.68	1.62	1.57	1.52	1.48	1.42	1.39	1.28		
∞	3.84	3.00	2.61	2.37	2.21	2.10	2.01	1.94	1.88	1.83	1.79	1.75	1.72	1.69	1.67	1.57	1.51	1.46	1.40	1.35	1.28	1.25	1.03		

**Anexo 3**  
**Planos del diseño.**



CIND DE INDE. IS CON. BARR		ACABADO	N5		ESPESOR	NO. DE BARRAS		SIVEM	
TAC. DE FAC. DE PRODUCCION									
ACABADO DE FINISH									
DIMENSIONES									
INFORMACION									
ANEXOS									
	NO. DE	NO. A	NO. P	NO. S					
ORIG.									
VER.									
APROB.									
MATER.									
CAID.									
					ACERO GRADO 40 ASTM			1	A3
					FECH.	FECHA 17		POM 104 1	

Disco de freno rediseñado