



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

**ESTUDIO DE LA EFICIENCIA DE FRENADO AL ADAPTAR DISCOS DE FRENOS
HIPERVENTILADOS A LAS CUATRO RUEDAS EN UN VEHÍCULO CHEVROLET
SAN REMO SL (CHEVETTE AÑO 86)**

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

**AUTORES: STEEVEN JHONSON MOROCHO CAMPOVERDE
ALEX FERNANDO REZA RIVADENEIRA**

TUTOR: DAYSI ALEXANDRA BAÑO MORALES

Quito - Ecuador

2022

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Steeven Jhonson Morocho Campoverde con documento de identificación N° 1726545591 y Alex Fernando Reza Rivadeneira con documento de identificación N° 1723845440; manifestamos que:

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

Quito, 19 de septiembre del año 2022

Atentamente,



Steeven Jhonson Morocho Campoverde
1726545591



Alex Fernando Reza Rivadeneira
1723845440

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

Nosotros, Steeven Jhonson Morocho Campoverde con documento de identificación No. 1726545591 y Alex Fernando Reza Rivadeneira con documento de identificación No. 1723845440, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Proyecto Técnico: “Estudio de la Eficiencia de Frenado al Adaptar Discos de Frenos Hiperventilados a las Cuatro Ruedas en un Vehículo Chevrolet San Remo SL (Chevette Año 86) ”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de Ingenieros Automotrices, 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

Quito, 19 de septiembre del año 2022

Atentamente,



Steeven Jhonson Morocho Campoverde
1726545591



Alex Fernando Reza Rivadeneira
1723845440

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Daysi Alexandra Baño Morales con documento de identificación N° 1720211034, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: ESTUDIO DE LA EFICIENCIA DE FRENADO AL ADAPTAR DISCOS DE FRENOS HIPERVENTILADOS A LAS CUATRO RUEDAS EN UN VEHÍCULO CHEVROLET SAN REMO SL (CHEVETTE AÑO 86), realizado por Steeven Jhonson Morocho Campoverde con documento de identificación N° 1726545591 y por Alex Fernando Reza Rivadeneira con documento de identificación N° 1723845440, 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.

Quito, 19 de septiembre del año 2022

Atentamente,



Ing. Daysi Alexandra Baño Morales, Mgtr
1720211034

DEDICATORIA

Dedico el presente proyecto a mis padres, ya que con su esfuerzo y dedicación me han brindado la mejor oportunidad en la vida la cual es estudiar, a mi hermano que ha sido un apoyo incondicional para mí y a mi abuelita que siempre me ha demostrado su apoyo incondicional a lo largo de mi vida

Steeven Jhonson Morocho Campoverde

Dedico el presente proyecto a mis honorables padres Mónica Rivadeneira y Jorge Reza quienes se han esforzado para que culmine mi carrera universitaria, pese a las adversidades que se han presentado en el transcurso, ellos fueron mi pilar fundamental para culminar esta etapa de mi vida, porque siempre estuvieron a mi lado brindándome su apoyo y sus consejos para hacer de mí una mejor persona y un buen profesional.

Alex Fernando Reza Rivadeneira

AGRADECIMIENTO

Primero agradecer a Dios por mantenerme con salud al igual que a mi familia. Agradecer a mi familia: a mi padre por siempre darme buenos consejos y llevarme por un buen camino, por ayudarme a romper mis límites y crecer personal e intelectualmente, por motivarme a cada día mejorar. A mi madre, quien es mi mayor confidente, a quien le confió mis secretos y siempre está al pendiente de mí. A mi hermano, que lo veo como mi ejemplo a seguir, por el apoyo incondicional en todo ámbito de mi vida, por ser esa persona que ha estado para mí cuando lo he necesitado. A mi abuelita, la mujer más indispensable en mi hogar, quien siempre pasa al pendiente de mí y en todo momento trata de hacerme feliz.

Agradecer de igual forma al Ing. Juan Pablo Tamayo y a nuestra tutora la Ing. Daysi Baño, por el apoyo brindado, por la paciencia y el tiempo dedicado a mi compañero y a mi persona durante todo el desarrollo del presente proyecto.

A todos ustedes gracias por ayudarme a crecer en mi vida, sin su apoyo no estaría cumpliendo mis sueños.

Steeven Jhonson Morocho Campoverde

Agradezco a Dios por mantener con vida a mis Padres Mónica Rivadeneira y Jorge Reza para que ellos puedan disfrutar conmigo este logro tan esperado, agradezco a mis padres, personas de gran sabiduría y tolerancia quienes han buscado la manera de convertirme en mejor persona y satisfacer mis necesidades. Agradezco mucho por los conocimientos técnicos difundidos en mí a Jorge Reza, Pablo Reza y Xavier Ortiz ya que ellos han sido mis mejores formadores que he llegado a conocer en el transcurso de mi vida, sus ayudas fueron fundamentales para encontrar mi camino en el ámbito profesional.

De igual forma, agradecer de manera muy cordial a nuestra tutora, la Ing. Daysi Baño por todo el tiempo, apoyo y sobre todo la paciencia que nos ha brindado durante todo este proceso.

Gracias a todos ellos llegaré a cumplir mis sueños.

Alex Fernando Reza Rivadeneira

ÍNDICE GENERAL

| | |
|--|----|
| ÍNDICE GENERAL..... | 4 |
| ÍNDICE DE FIGURAS..... | 5 |
| ÍNDICE DE TABLAS | 7 |
| INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| PROBLEMA..... | 3 |
| Objetivo General..... | 4 |
| Objetivos Específicos..... | 4 |
| MARCO TEÓRICO..... | 5 |
| CAPÍTULO 1..... | 23 |
| METODOLOGÍA..... | 23 |
| 1 DISEÑO DE DISCOS HIPERVENTILADOS Y ADAPTADORES DE SUJECION (BRACKETS)..... | 23 |
| 1.1 Introducción..... | 23 |
| 1.2 Diseño de discos hiperventilados delanteros | 25 |
| 1.3 Diseño de discos hiperventilados traseros | 26 |
| 1.4 Adaptadores de sujeción delanteros y traseros (Brackets)..... | 27 |
| 1.4.1 Selección de materiales para adaptadores de sujeción | 27 |
| 1.4.2 Diseño de adaptadores de sujeción delanteros y traseros (Brackets) | 29 |
| CAPÍTULO 2..... | 32 |
| 2 CONSTRUCCION DE ADAPTADORES DE SUJECION (BRACKETS) Y MECANIZADO DE DISCOS HIPERVENTILADOS..... | 32 |
| 2.1 Calibración de equipos..... | 32 |
| 2.2 Construcción de adaptadores de sujeción..... | 33 |
| 2.2.1 Mecanizado de discos hiperventilados delanteros y traseros | 36 |
| CAPITULO 3..... | 42 |
| 3 SELECCIÓN DE BOMBA DE FRENO | 42 |
| 3.1 Introducción..... | 42 |
| 3.2 Relación Bomba-pistón del caliper y Presión en todo el sistema de frenos | 43 |
| 3.3 Centro de gravedad | 45 |
| 3.4 Cálculo de Bomba ideal de freno..... | 46 |
| CAPITULO 4..... | 52 |
| 4 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO | 52 |
| 4.1 Introducción..... | 52 |
| 4.1.1 Descripción del vehículo | 52 |
| 4.1.2 Prueba según norma ISO 21069-2..... | 53 |

| | | |
|----------------------------------|--|----|
| 4.1.3 | Prueba de ruta para medir el desplazamiento de frenado | 54 |
| 4.1.4 | Prueba de ruta para medición de temperaturas | 54 |
| 4.2 | Pruebas de funcionamiento para el sistema de frenos de fábrica y sistema de discos de freno hiperventilados adaptado | 55 |
| 4.2.1 | Prueba según norma ISO 21069-2 | 55 |
| 4.2.2 | Prueba de ruta para medición de temperaturas | 60 |
| CAPÍTULO 5 | | 62 |
| 5 | ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS | 62 |
| 5.1 | Bomba de freno | 62 |
| 5.2 | Análisis de pruebas de funcionamiento | 63 |
| 5.2.1 | Prueba en el frenómetro | 63 |
| 5.2.2 | Prueba de ruta para medir el desplazamiento de frenado | 63 |
| 5.2.3 | Prueba de ruta para medición de temperaturas | 67 |
| CONCLUSIONES | | 70 |
| RECOMENDACIONES | | 71 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | | 72 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | | |
|--------------------|---|----|
| Figura 0.1 | Disco de tambor | 7 |
| Figura 0.2 | Plato Portafrenos | 8 |
| Figura 0.3 | Tambor de Freno | 8 |
| Figura 0.4 | Zapata de freno de tambor | 9 |
| Figura 0.5 | Dispositivo de tensado | 9 |
| Figura 0.6 | Freno de tambor | 10 |
| Figura 0.7 | Bombín de freno | 10 |
| Figura 0.8 | Resortes de retención y recuperadores | 11 |
| Figura 0.9 | Sistema Girling | 11 |
| Figura 0.10 | Sistema Bendix | 12 |
| Figura 0.11 | Freno de tambor simplex | 12 |
| Figura 0.12 | Freno de tambor dúplex | 13 |
| Figura 0.13 | Freno de tambor dúo dúplex | 13 |
| Figura 0.14 | Freno de disco | 14 |
| Figura 0.15 | Disco de freno macizo | 15 |

| | |
|--|----|
| Figura 0.16 Disco de freno ventilado | 15 |
| Figura 0.17 Discos de freno perforados | 16 |
| Figura 0.18 Discos de freno ranurados..... | 16 |
| Figura 0.19 Discos de freno mixtos..... | 17 |
| Figura 0.20 Disco de freno cerámico | 17 |
| Figura 0.21 Tipos de mordazas | 18 |
| Figura 0.22 Pastilla de freno..... | 19 |
| Figura 0.23 Configuración Convencional | 20 |
| Figura 0.24 Configuración en diagonal..... | 20 |
| Figura 0.25 Servofreno..... | 21 |
| Figura 1.1. Perforaciones del disco de freno | 23 |
| Figura 1.2 Disco hiperventilado delantero | 25 |
| Figura 1.3 Disco hiperventilado trasero | 26 |
| Figura 1.4 Adaptador de sujeción delantero..... | 30 |
| Figura 1.5 Adaptador de sujeción trasero..... | 30 |
| Figura 1.6 Adaptador de sujeción trasero..... | 31 |
| Figura 2.1. Patrón de corte adaptadores traseros..... | 33 |
| Figura 2.2. Oxicorte de adaptadores delanteros y traseros..... | 34 |
| Figura 2.3. Rectificado de adaptadores | 34 |
| Figura 2.4 Perforaciones en adaptadores de sujeción..... | 35 |
| Figura 2.5 Vaciado Adaptadores Traseros | 36 |
| Figura 2.6. Manzana de disco macizo delantero | 37 |
| Figura 2.7. Plantillas para mecanizar discos | 37 |
| Figura 2.8 Plantilla pegada al disco de freno | 38 |
| Figura 2.9. Plantilla y perforaciones del disco de freno..... | 39 |
| Figura 2.10 Ranurado de discos | 40 |
| Figura 2.11. Avellanado de discos hiperventilados..... | 41 |
| Figura 3.1 Bomba tándem | 42 |
| Figura 4.1. Chevrolet Chevette (San Remo SL)..... | 52 |
| Figura 5.1 Distancia de frenado..... | 64 |
| Figura 5.2 Distancia de frenado en relación con el tiempo | 65 |
| Figura 5.3 Tiempo de frenado | 66 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| | |
| Tabla 0.1. Tipos de líquido de frenos | 22 |
| Tabla 1.1. Acero AISI 1018..... | 27 |
| Tabla 1.2. Planchas laminadas en caliente..... | 28 |
| Tabla 1.3. Material para adaptadores de sujeción..... | 28 |
| Tabla 3.1. Datos para calcular la bomba..... | 46 |
| Tabla 4.1. Datos del vehículo | 55 |
| Tabla 4.2. Frenómetro con sistema de fábrica..... | 55 |
| Tabla 4.3 Datos del vehículo | 56 |
| Tabla 4.4 Frenómetro con sistema adaptado | 56 |
| Tabla 4.5. Prueba de ruta a 60 km/h | 57 |
| Tabla 4.6 Prueba de ruta a 60 km/h | 58 |
| Tabla 4.7. Prueba de ruta a 80 km/h | 58 |
| Tabla 4.8 Prueba de ruta a 80 km/h | 59 |
| Tabla 4.9. Prueba de ruta a 100 km/h | 59 |
| Tabla 4.10 Prueba de ruta a 100 km/h | 60 |
| Tabla 4.11. Temperaturas sistema de frenos de fábrica..... | 60 |
| Tabla 4.12 Temperaturas sistema de frenos adaptado | 61 |
| Tabla 5.1 Bomba de Frenos | 62 |
| Tabla 5.2 Colores utilizados en gráficos..... | 63 |
| Tabla 5.3 Datos de ensayos | 68 |

RESUMEN

El sistema de frenos ha ido evolucionando con el pasar de los años, los vehículos que salen al mercado han adoptado frenos de disco en las cuatro ruedas además de sistemas de seguridad para mejorar la eficiencia de frenado y para que la disipación térmica se dé de manera óptima.

En el presente proyecto, se ha realizado una adaptación de discos de freno hiperventilados a las cuatro ruedas, para lo cual se diseñó en un Programa CAD (Inventor), las ranuras y avellanados para el disco de freno hiperventilado, además para que el mecanismo no quede flotando, se diseñaron unos adaptadores (brackets) de sujeción en donde irán asentados los calipers de las cuatro ruedas.

Para la mecanización de los adaptadores de sujeción, se utilizó una cortadora de plasma CNC, la cual realizó el oxicorte en el material seleccionado, y posteriormente con la fresadora se refrenta las caras de los adaptadores debido a que con el corte estas se llegan a pandear ligeramente y se necesita que se encuentren paralelas.

Además, para que el frenado sea lo más óptimo posible en todo el sistema, se realizó un cálculo para encontrar la bomba de frenos ideal, en donde el punto de partida fueron las fuerzas de frenado con el sistema de fábrica y la relación de la bomba de frenos de fábrica, con todo esto se logró encontrar una bomba que satisface las fuerzas de frenado y las presiones en el sistema de frenos nuevo.

Para comprobar que el sistema de frenos funcione correctamente, se realizó la prueba detallada en la norma ISO 21069-2, que se la realiza en un frenómetro, además se realizó una prueba de ruta con 3 velocidades distintas para obtener cual es la distancia en que el vehículo frena y el tiempo de frenado, así como también una prueba adicional para verificar la temperatura inicial y final, estas pruebas se realizaron con el sistema de frenos convencional así como también con el sistema de frenos adaptado.

Palabras Claves: CAD, Adaptadores, Sistema de Frenos, Discos Hiperventilados, Bomba de frenos, eficiencia de frenado, Distancia de frenado, Temperatura.

ABSTRACT

The brake system has evolved over the years, the vehicles that come onto the market have adopted disc brakes on all four wheels as well as safety systems to improve braking efficiency and so that heat dissipation occurs in a more efficient way. more optimal.

In the present project, an adaptation of hyperventilated brake discs to the four wheels has been carried out, for which the slots and countersunks for the hyperventilated brake disc were designed in a CAD Software (Inventor), also so that the mechanism does not that of floating, some support brackets were designed where the calipers of the four wheels will be seated.

For the mechanization of the brackets, a plasma-CNC cutter was used, which performed the oxycut on the selected material, and later with the milling cutter the faces of the brackets are faced because with the cut they come to buckle a little. little and we need them to be parallel. In addition, so that the braking is as optimal as possible in the entire system, a calculation was made to find the ideal brake pump, where the starting point was the braking forces with the factory system and the ratio of the pump. of factory brakes, with all this it was possible to find a pump that satisfies the braking forces and pressures in the new brake system.

To verify that the brake system works correctly, the test detailed in the ISO 21069-2 standard was carried out, which is carried out in a brake tester, in addition, a road test was carried out with 3 different speeds to obtain what is the distance in which the vehicle brakes and the braking time, as well as an additional test to verify the initial and final temperature, these tests were carried out with the conventional brake system as well as with the adapted brake system.

Keywords: CAD, Brackets, Brake System, Hyperventilated Discs, Master Pump, braking efficiency, Braking Distance, Temperature.

INTRODUCCIÓN

Con el pasar de los años, la seguridad en los sistemas de frenado en los vehículos ha ido evolucionando con una notoria mejora, esto se ve claramente evidenciado en los autos que salen al mercado año por año, por tal motivo los conductores sienten más confiabilidad en el automotor y optan por aumentar la velocidad media con la que suelen conducir. Un automóvil se encuentra bien diseñado cuando asegura que el conductor y sus ocupantes lleguen a salvo a su destino, aunque el vehículo se encuentre bien diseñado si el conductor desconoce cómo funcionan correctamente los elementos de seguridad del vehículo, es evidente que un accidente ocurrirá.

En el presente proyecto técnico se explica y examina una adaptación de discos de freno hiperventilados en las cuatro ruedas para mejorar la eficacia en el frenado y su eficiencia térmica utilizando discos de freno hiperventilados en las cuatro ruedas.

Para ello, se analizó el sistema de frenos de fábrica del Chevrolet San Remo SL (Chevette año 86), este análisis se lo hizo en un frenómetro y con pruebas de carretera a diferentes velocidades, para saber cuánta distancia se desplaza a partir del accionamiento del freno, además de su temperatura inicial y final, teniendo como resultado que el uso excesivo del freno, sobre todo en pendientes el sistema de frenos pierde su capacidad de frenado y sabiendo que la geografía en el Ecuador es irregular, y en la mayoría de vías y calles se tiene pendientes con un alto grado de inclinación, el riesgo de que se produzca un accidente es latente la mayor parte de tiempo.

Para afrontar todo lo antes mencionado, se ha optado por adaptar discos de frenos a las cuatro ruedas para mejorar su eficiencia de frenado y se los hiperventila a los discos para mejorar su eficiencia térmica, además para que este nuevo mecanismo no quede flotando, se diseñaron los adaptadores de sujeción en un programa CAD para ser mecanizados en planchas de acero laminado en caliente (acero negro), y para asegurarse que el sistema funcione con la presión y fuerzas de frenado óptimas, se calculó cual es la bomba ideal en el nuevo mecanismo, todo esto a partir de las fuerzas de frenado con el sistema de frenos de fábrica.

Para demostrar la eficiencia de frenado, se utilizó la norma ISO 21069-2, que nos da las pautas para realizar la prueba en un frenómetro, el cual dio como resultado que la eficiencia en el frenado si mejora, además de realizo pruebas de ruta complementarias para demostrar que la distancia de frenado se reduce y que la temperatura en los discos hiperventilados se disipa de mejor manera que en el sistema original.

PROBLEMA

En los últimos años, se ha podido observar que en el Ecuador la industria automotriz empieza a comercializar con mayor frecuencia vehículos livianos con discos de freno en las cuatro ruedas, esto por estándares y normativas de seguridad que se han ido desarrollando con el transcurso de los años.

Por otro lado, aún existen vehículos en circulación con sistemas de frenos que no se encuentran actualizados por ende, estos vehículos son más propensos a estar involucrados en accidentes de tránsito por una falla mecánica o de eficiencia en el sistema de frenos.

Con estos antecedentes, en el presente proyecto técnico se busca mejorar la eficiencia de frenado en un vehículo Chevrolet San Remo SL (Chevette año 86), adaptando discos de freno de otro vehículo en los cuales se realizan perforaciones, ranurados y avellanados para tener como resultado discos de freno hiperventilados que permitirán disipar de mejor manera el calor que se genera por el uso del sistema de frenos.

Delimitación del problema. –

Un vehículo que contiene un sistema de frenos con tambores en el eje trasero por lo general se llegan a recalentar por la generación de calor debido al aumento de temperatura, lo que conlleva a que no respondan al accionamiento del pedal, por tanto, lo que se busca con esta adaptación de cuatro discos de freno hiperventilados en las cuatro ruedas, es mejorar la disipación del calor del sistema de frenos mediante el ranurado y perforado de los discos, con esto se evitará el sobrecalentamiento del sistema de frenos. Además, con un aumento de dimensiones de discos en la parte delantera, sustituyendo el disco macizo que viene ensamblado de fábrica por un disco de mayor diámetro e hiperventilado se disminuirá la distancia de frenado del vehículo en momentos de emergencia, también sustituir los frenos de tambor del eje trasero, por unos frenos de disco hiperventilados.

Objetivo General.

Analizar la eficiencia de frenado al adaptar discos de frenos hiperventilados a las cuatro ruedas en un vehículo Chevrolet San Remo SL.

Objetivos Específicos.

- Diseñar los adaptadores de sujeción de los cuatro calipers y discos hiperventilados para mejorar el rendimiento térmico del sistema, en un programa CAD.
- Mecanizar los adaptadores de sujeción, perforar y ranurar los discos de un Kia Carens 2006 en una fresadora.
- Adaptar discos de frenos hiperventilados y los calipers a las 4 ruedas para una mejor eficiencia en el frenado.
- Calcular la fuerza de fricción en los calipers, la fuerza generada en los calipers, fuerza en el bombín, área del bombín, fuerza de la bomba y área de la bomba para la selección de una bomba de freno más eficiente.
- Verificar la eficiencia del sistema de frenos adaptado mediante la norma ISO 21069-2

MARCO TEÓRICO

El automóvil dispone de un sistema de frenado capaz de detenerlo mediana o completamente cuando este se encuentre en movimiento.

Cada vehículo cuenta con un sistema de frenos que se adapta al tipo de tarea para lo que fue diseñado, y este debe ser capaz de transformar la energía cinética del mismo en energía térmica y disipar el calor generado por los elementos activos de este sistema. (Alonso, 2014)

El sistema de frenado consta de:

- **Mando:** Es la pieza que acciona el conductor para generar la fuerza de frenado necesaria a la transmisión para frenar mediana o completamente.
- **Transmisión:** Comprende un conjunto de piezas o componentes que se unen de manera práctica y se encuentran entre el mando de accionamiento y el freno.
- **Dispositivo de freno:** Es la parte en donde se aplica la fuerza que impide el movimiento del automóvil, pueden ser:
 - De fricción
 - Eléctrico
 - Hidráulico
 - De motor

SISTEMAS DE FRENADO

- **Freno de servicio**

Es aquel que controla el desplazamiento del vehículo y lo detiene de manera rápida, segura y eficiente, además este requiere que el accionamiento sea regulable para que el conductor pueda frenar desde su asiento sin quitar las manos del volante.

En motocicletas y automóviles, este sistema consiste en un circuito hidráulico con elementos y dispositivos generadores de presión los cuales actúan en los pistones de los discos o en los cilindros en caso de tambores de freno. Este circuito está constituido por: un pedal de tracción, una bomba con depósito de líquido hidráulico, un servofreno, discos con mordazas o tambores con zapatas, un corrector de freno para el eje trasero y cañerías. (Alonso, 2014)

- **Freno de socorro o auxiliar**

Llamado también como freno de emergencia, debe permitir que el vehículo se detenga dentro de un rango de distancia moderada en caso de una posible falla del freno de servicio y, al igual que este, su accionamiento debe ser ajustable. Esto asegura que el conductor pueda frenar desde su asiento sujetando el volante con al menos una mano.

En un automóvil, el freno de emergencia es conocido como freno de estacionamiento o freno de mano. Como su nombre lo indica, es un mecanismo de accionamiento manual, y actúa normalmente en el eje trasero. (Alonso, 2014)

- **Freno de estacionamiento**

Es aquel que puede detener el automóvil directamente sin que el conductor se encuentre en la cabina.

Los vehículos livianos utilizan este freno para dos funciones: como freno de estacionamiento y como un freno auxiliar en caso de emergencia.

En los vehículos industriales y de pasajeros, el freno de estacionamiento suele utilizar el circuito neumático del vehículo para bloquear y liberar el freno de estacionamiento. (Alonso Perez, 2007)

SISTEMA DE FRENADO DE TAMBOR Y DE DISCO.

SISTEMA DE FRENO DE TAMBOR

El freno de tambor ha sido el más utilizado a lo largo del tiempo en los sistemas de frenado, fue inventado por Wilhelm Maybach en el año 1899 y se ha convertido en el sistema de freno más antiguo utilizado en la actualidad. También se le conoce como freno de zapatas interiores.

Funcionamiento del freno de tambor

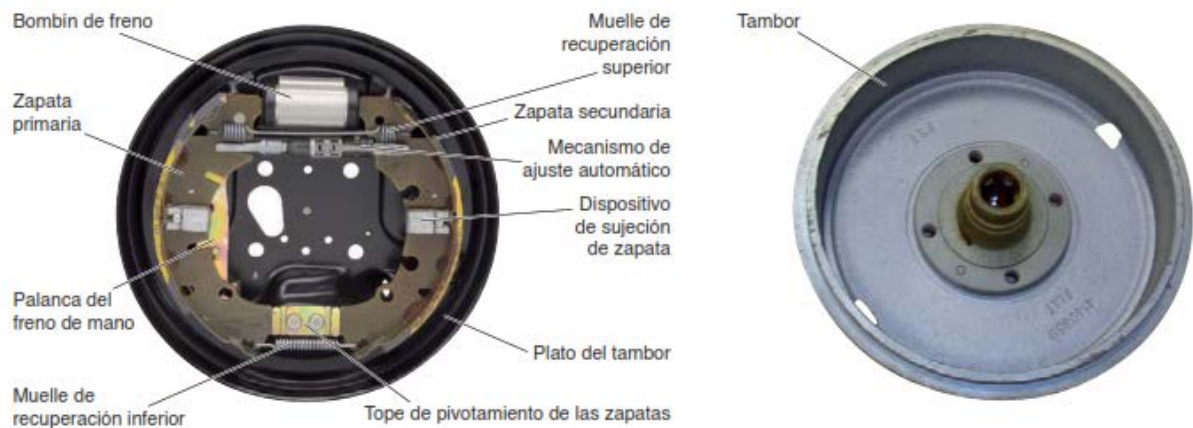
Los portafrenos van montados sobre el eje, y las zapatas y tensores asisten en su movimiento; el freno de zapatas interiores se encuentra armado en el buje de la rueda y gira con ella. Cuando se mueve el cilindro de freno, la zapata se presiona contra el tambor y la fricción creada detiene las ruedas.

Este sistema consta de dos zapatas, una principal y otra secundaria. La zapata principal se aprieta debido al par generado durante el frenado, y esta fricción permite que la zapata principal se adhiera al tambor de freno. Por otro lado, la fuerza de fricción en la zapata secundaria reduce la fuerza de compresión, lo que contribuye a una distribución diferencial del esfuerzo de frenado entre las dos zapatas de freno, lo que da como resultado un desgaste desigual de las pastillas (Alonso, 2014)

Partes

El autor Alonso (2014), en su libro menciona que el sistema de tambor está constituido por :

Figura 0.1 Disco de tambor



Despiece del freno de tambor, Fuente: Alonso (2014)

- **Portafrenos**

También llamado plato de freno es aquel elemento que sujeta al mecanismo del freno de tambor. Este se sujeta a la transmisión posterior por medio de tornillos en caso de ser de tracción trasera.

Figura 0.2 Plato Portafrenos



Fuente: Alonso (2014)

- **Tambor de freno**

Es un cilindro que soporta altas temperaturas que son provocadas por la fricción que generan las zapatas al frenar. (Alonso, 2014)

Figura 0.3 Tambor de Freno



Superficie de contacto del tambor de freno, Fuente: Alonso (2014)

- **Zapata de freno**

Las zapatas consisten en dos placas de acero, una en forma de medialuna y la otra redonda, unidas a un tensor y a un soporte fijo, con uno o dos muelles para colocarlos en su posición de reposo. (Alonso, 2014)

Figura 0.4 Zapata de freno de tambor



Fuente: Alonso (2014)

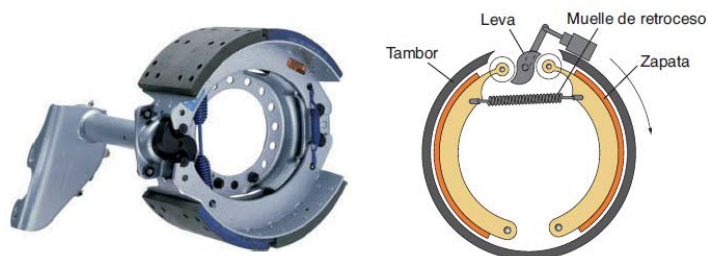
Dispositivos de tensado de las zapatas

Se encargan de ejecutar el desplazamiento de las zapatas al momento de accionar el freno. Los dispositivos más utilizados son:

- **Leva en forma de “S” o de “Z”**

Accionada por la palanca de freno; por un lado, las zapatas se apoyan sobre dos rodillos cilíndricos que les permiten girar, y por otro lado, el dispositivo de leva gira sobre su eje para abrir las zapatas, lo que crea una fuerza de frenado en la superficie interna del tambor. Cuando la fuerza de rotación de la leva se detiene, el resorte devuelve las zapatas al reposo y el tambor se libera del frenado. (Alonso, 2014)

Figura 0.5 Dispositivo de tensado

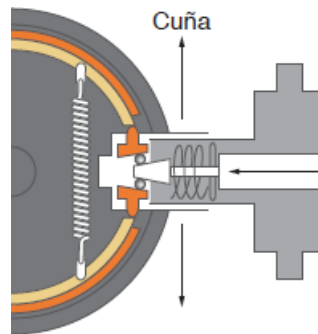


Leva en forma de “S”, Fuente: Alonso (2014)

- **Cuña en expansión**

Para abrir las zapatas, este sistema utiliza una varilla a modo de tuerca, que va unida a la parte posterior del plato y es la responsable del movimiento progresivo de las zapatas. El máximo aprovechamiento de los soportes se produce cuando la tuerca se sujeta en su última parte. (Alonso, 2014)

Figura 0.6 Freno de tambor

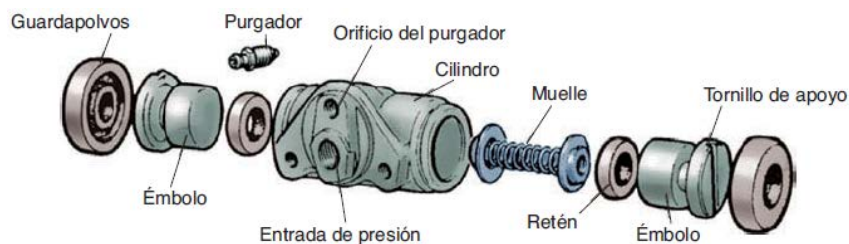


Accionamiento por cuña en el freno de tambor, Fuente: Alonso (2014)

- **Bombín de freno**

Desplaza un émbolo para modificar la presión hidráulica y aplica esta presión sobre el tambor. Este elemento consta de uno o dos pistones, retenes, un purgador, un muelle de retorno y guardapolvos.

Figura 0.7 Bombín de freno



Despiece de bombín de doble émbolo, Fuente: Alonso (2014)

- **Resortes de retención y recuperadores**

Colocan la zapata en su posición original. Un trinquete actúa con fuerza en el sentido que circula la presión de la zapata sobre el tambor, y la fuerza de retorno del resorte es la encargada de generar el movimiento inverso. (Alonso, 2014)

Figura 0.8 Resortes de retención y recuperadores



Fuente: Alonso (2014)

Dispositivos de ajuste

Se dividen en dos:

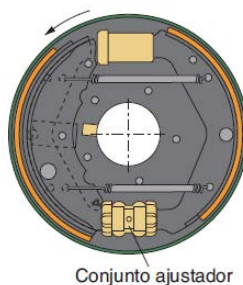
- **Dispositivos de ajuste manual**

Un técnico realiza el ajuste, esto mediante un mecanismo que se aproxima a las zapatas y al tambor; los subsistemas más utilizados son:

- **Sistema Girling**

Se ajusta mediante un sistema de ajuste roscado o un conjunto de ajuste en el soporte de la zapata.

Figura 0.9 Sistema Girling

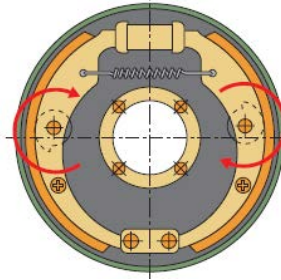


Fuente: Alonso (2014)

➤ **Sistema Bendix**

El ajuste se lo realiza desde la parte trasera del freno girando una leva. El rango de ajuste máximo corresponde a la elevación de la leva. Si el freno no se mantiene después de una revolución completa de la leva, las zapatas están desgastadas y deben reemplazarse. (Alonso, 2014)

Figura 0.10 Sistema Bendix



Fuente: Alonso (2014)

- **Dispositivos de ajuste automático**

Estos se encuentran en vehículos modernos que tienen frenos de tambor en el eje trasero. Los más utilizados son:

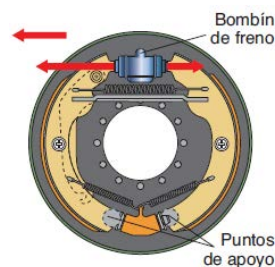
- Ajuste con trinquete.
- Ajuste con arandelas de fricción

Tipos de freno de tambor

- **Freno simplex**

En este sistema las dos zapatas se comprimen en un extremo contra el tambor, esto mediante el dispositivo de tensado que poseen en común; en el otro extremo, va apoyado sobre un punto fijo. (Alonso, 2014)

Figura 0.11 Freno de tambor simplex

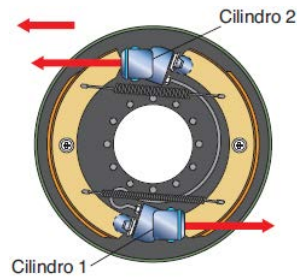


Fuente: Alonso (2014)

- **Freno dúplex**

Hay dos dispositivos de tensado, uno para cada zapata, son en forma de cilindro de simple efecto. El punto de apoyo para la zapata contraria se encuentra en la parte trasera del dispositivo de tensado. (Alonso, 2014)

Figura 0.12 Freno de tambor dúplex

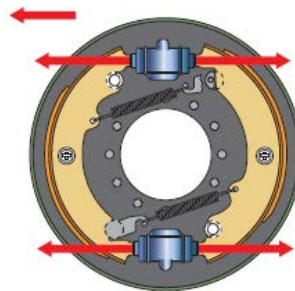


Fuente: Alonso (2014)

- **Freno dúo dúplex**

Este mecanismo es inusual, posee dos cilindros de doble efecto como los elementos de tensado; cuando el vehículo se desplaza hacia delante, este freno funciona como un dúplex, además el efecto del frenado es igual en ambos sentidos. (Alonso, 2014)

Figura 0.13 Freno de tambor dúo dúplex



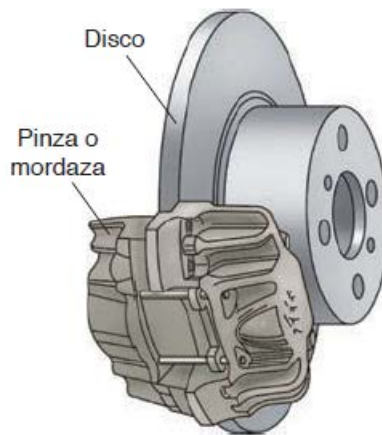
Fuente: Alonso (2014)

SISTEMA DE FRENO DE DISCO

Este sistema es el más utilizado actualmente en los vehículos, ya que si se lo compara con los tambores, este sistema es más simple, eficiente y liviano

Los principios de funcionamiento hidráulicos y mecánicos de este sistema son más simples, poseen una bomba de frenado que se encarga de transmitir la presión idónea al circuito de frenos, los pistones de la mordaza utilizan esta presión como fuerza de empuje para repartirla a las pastillas de freno. El accionamiento hidráulico de las mordazas se basa en el principio de pascal. (Alonso, 2014)

Figura 0.14 Freno de disco



Partes del freno de disco, Fuente: Alonso (2014)

Partes

El sistema de freno de disco cuenta con:

- **Disco de Freno**

Consta de dos partes, la primera es la campana, posee un agujero para centrar al eje de la rueda con los orificios para la unión mediante tornillos, y una banda de fricción donde se encuentran apoyadas las pastillas de freno. (Alonso, 2014)

- ❖ **Fabricación:** Actualmente se fabrican de carbono, pero son muy inusuales y de mayor precio en el mercado, las más utilizadas son de fundición gris perlítica y aleación de cromo
- ❖ **Temperaturas de trabajo:** Para vehículos tipo turismo, la temperatura de trabajo ronda los 400 °C mientras que para discos cerámicos, la temperatura aproximada es de 800 °C

Estos discos pueden ser:

- **El disco macizo:** Tiene un grosor muy pequeño y sus dos superficies de fricción son opuestas; es más delgado que el disco ventilado y disipa el calor mucho más lento que los otros discos. (Central de Repuestos TR, 2018)

Figura 0.15 Disco de freno macizo



Autor: Central de Repuestos TR (2018)

- **Los discos ventilados:** Disipan el calor más rápido que un disco de freno macizo, este tipo de discos posee unos alabes por donde circula aire muy rápido, y este se encarga de refrigerar o evacuar la alta temperatura del disco. (Central de Repuestos TR, 2018)

Figura 0.16 Disco de freno ventilado



Fuente: Central de Repuestos TR (2018)

- **Los discos perforados:** Cuentan con perforados para ventilación, pero como la superficie de contacto para la frenada es menor se calientan mucho más rápido.

Figura 0.17 Discos de freno perforados



Fuente: Central de Repuestos TR (2018)

- **Los discos ranurados:** No liberan el calor de la misma manera que los discos perforados, pero su función principal es la de limpiar los residuos que genera la pastilla y que pueden llegar a reducir la eficacia del frenado (Central de Repuestos TR, 2018)

Figura 0.18 Discos de freno ranurados



Fuente: Central de Repuestos TR (2018)

- **Discos mixtos o hiperventilados:** Es una mezcla de perforación con ralladura y ventilación, estos utilizan las mejores cualidades de cada disco

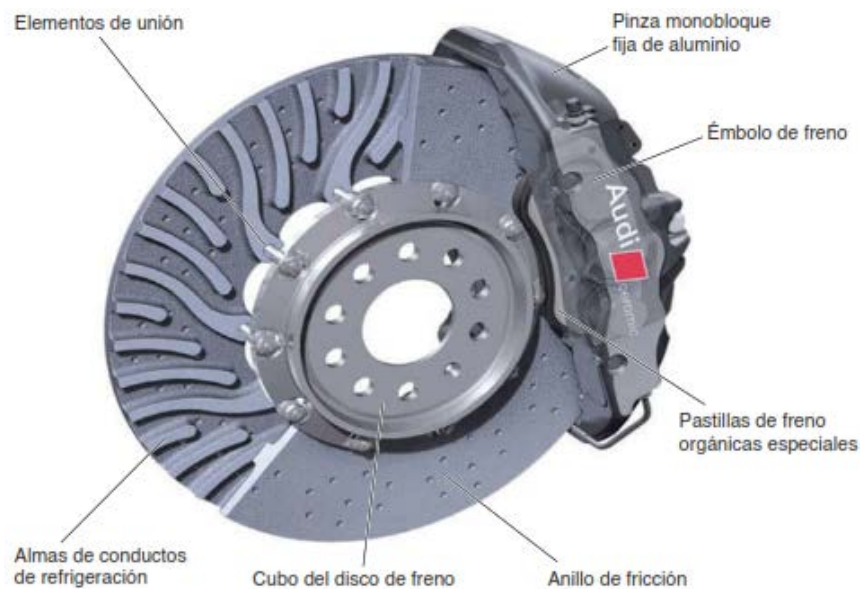
Figura 0.19 Discos de freno mixtos



Fuente: Central de Repuestos TR (2018)

- **Disco de freno cerámico:** Fabricado con carburo de silicio reforzado con fibra de carbono. El carburo de silicio le proporciona una muy alta dureza, resistencia al desgaste por abrasión y una muy buena estabilidad química y térmica. Está formado por dos elementos: el cubo del disco y el anillo cerámico de fricción. (Alonso, 2014)

Figura 0.20 Disco de freno cerámico



Fuente: Alonso (2014)

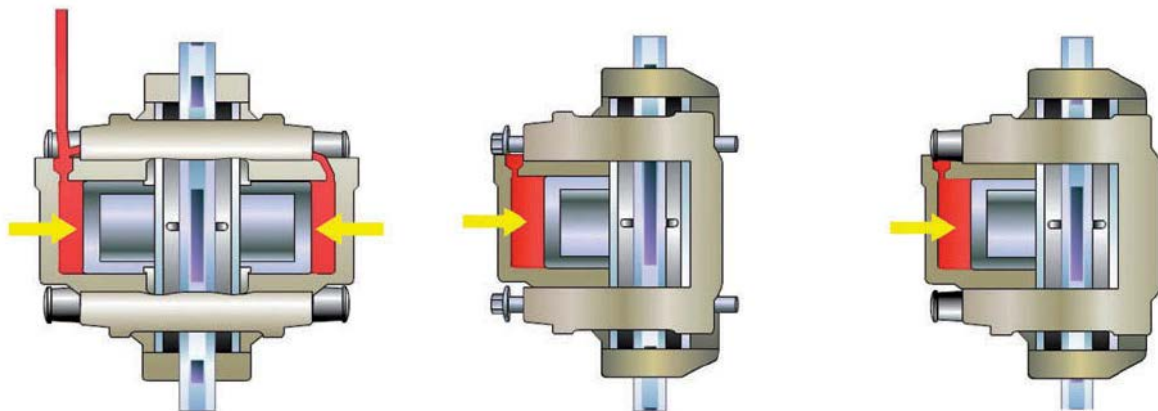
- **Pinza de freno**

Es un marco que encierra el disco en toda su circunferencia, está unido a un eje o puente, y tiene cilindros en los que los pistones o émbolos que presionan las pastillas sobre el disco. Los automóviles convencionales utilizan con mayor frecuencia pinzas de uno y dos pistones, mientras que los modelos de alta gama utilizan pinzas de cuatro y seis pistones. (Alonso, 2014)

Los tipos de mordazas de freno son:

- **Fija:** Los pistones ejercen presión sobre las pastillas sin que se mueva con respecto al disco de freno
- **Flotante:** Se mueve junto con el disco de freno, y el pistón de un lado mueve la pastilla para ponerla en contacto con el disco de freno.
- **Deslizante:** Utiliza pastillas de freno más grandes para aumentar la fuerza de frenado, esto debido a que esta pinza es de un pistón largo o dos pistones pequeños; utiliza menos espacio que las dos anteriores y es más compacta.

Figura 0.21 Tipos de mordazas



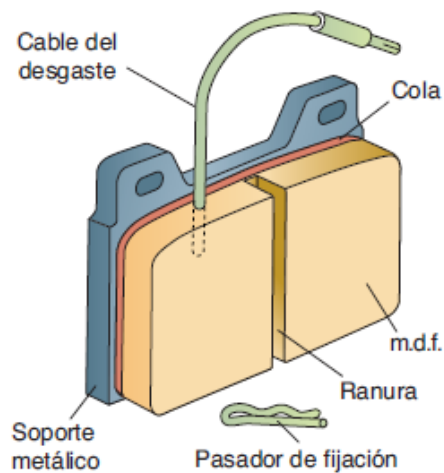
Mordaza fija, flotante y deslizante, respectivamente, Fuente: Alonso (2014)

- **Pastilla de freno**

Los materiales más utilizados para la fabricación de las pastillas son:

- **Materiales de rozamiento:** Aprox. 8%; fibras de carbono, aramida, metal, vidrio.
- **Sustancias de relleno:** Aprox. 35%; óxido de hierro, óxido de aluminio, espato pesado.
- **Material deslizante:** Aprox. 33%; polvo de coque y/o grafito.
- **Sustancias aglutinantes:** Aprox. 25%; resina sintética y caucho.
- **Aditivos de metal:** Aprox. 9%; acero, cobre, cinc, latón, aluminio.

Figura 0.22 Pastilla de freno



Fuente: (Alonso, 2014)

CONFIGURACIONES DEL CIRCUITO DE FRENADO

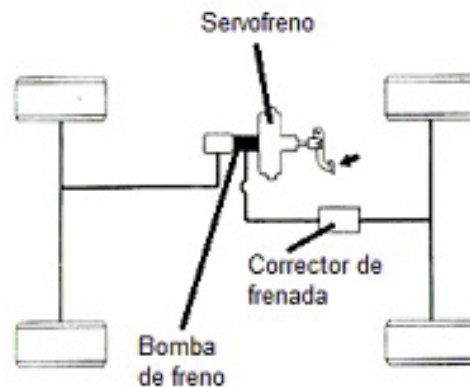
Por razones normativas y de seguridad vigentes, los vehículos deben tener al menos dos circuitos de frenado independientes. De acuerdo con la norma DIN 74000, los fabricantes de automóviles suelen utilizar algunas características de esta norma para los circuitos de frenado de los automóviles.

La configuración del circuito de freno se denomina por letras, y estas configuraciones pueden ser II, X, Hi, LL, HH, que indica el cilindro maestro o la disposición de las tuberías de freno que conecta el cilindro al freno. (Rodríguez, 2022)

A continuación se detalla las dos configuraciones más utilizadas:

- ✓ **Configuración II o convencional:** El accionamiento del sistema de frenos de las ruedas delanteras tiene su propio circuito para funcionar, esto también aplica para las ruedas traseras. Generalmente utilizan esta configuración los vehículos de tracción trasera. (Rodríguez, 2022)

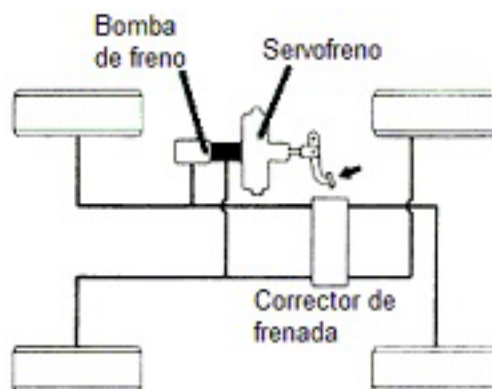
Figura 0.23 Configuración Convencional



Fuente: Rodríguez (2022)

- ✓ **La configuración en X o en diagonal:** Los vehículos modernos generalmente utilizan esta configuración, se trata de un circuito que abastece para la rueda delantera izquierda y la rueda trasera derecha y un segundo circuito para la rueda delantera derecha y la rueda trasera izquierda. (Rodríguez, 2022)

Figura 0.24 Configuración en diagonal



Fuente: Rodríguez (2022)

SERVOFRENO

El servofreno es un mecanismo que brinda ayuda durante el frenado, mejorándolo y reduciendo significativamente la fuerza requerida para hacerlo. Gracias al servofreno, se puede realizar un frenado potente y enérgico hasta el punto de bloquear las ruedas (o requerir la acción del ABS) con facilidad, deteniendo el vehículo en una distancia de menos de muchos metros, dando un punto significativamente más en términos de seguridad.

El funcionamiento del servofreno se basa en dos principios físicos: el de palanca y el de fuerza hidráulica. Por un lado, el pedal de freno actúa como una palanca que, a través del fulcro, multiplica su fuerza. Por otro lado, el propio servofreno consta de varios elementos que generan la mencionada fuerza hidráulica.

Mientras el automóvil está en movimiento sin pisar el pedal del freno, las dos cámaras están interconectadas y vacías a presión constante. Sin embargo, cuando se acciona el pedal del freno, un pistón cierra la conexión entre los dos pistones y transfiere la presión atmosférica desde la parte delantera del cuerpo del servofreno a la primera cámara, conocida como cámara de presión variable. El pistón, a su vez, presiona sobre la membrana que separa las dos cámaras, y con la ayuda de la fuerza ejercida por la presión atmosférica existente en la cavidad de presión variable, ejerce una fuerza extra sobre la membrana aumentando considerablemente la fuerza de frenado en el sistema de frenos. (Plaza, 2020)

Figura 0.25 Servofreno



Fuente: Ruiz (2017)

LÍQUIDO DE FRENOS

El líquido de frenos es el fluido que se encarga de transferir la fuerza ejercida sobre el pedal del freno al freno de la rueda. Como líquido casi incompresible, transmite presión y fuerza de manera excelente. El líquido de frenos debe ser de alta calidad y del nivel adecuado, de lo contrario aumenta el riesgo de accidente. La eficiencia de frenado y la estabilidad del sistema dependen de estos factores. (ATE, 2017)

Tabla 0.1. Tipos de líquido de frenos

| Tipo | Punto de ebullición | Punto de ebullición en húmedo | Viscosidad a -40°C | Intervalo de remplazo |
|-------------------|---------------------|-------------------------------|------------------------------|-----------------------|
| ATE G DOT3 | Min. 245°C | Min. 150°C | Max. 1500 mm ² /s | Hasta 1 año |
| ATE SL DOT4 | Min. 260°C | Min. 165°C | Max. 1400 mm ² /s | Hasta 1 año |
| ATE SL.6 DOT4 | Min. 265°C | Min. 175°C | Max. 700 mm ² /s | Hasta 1 año |
| ATE TYP 200 DOT 4 | Min. 280°C | Min. 198°C | Max. 1400 mm ² /s | Hasta 1 año |
| ATE SUPER DOT 4 | Min.260°C | Min. 180°C | Max. 1400 mm ² /s | Hasta 1 año |

Características de líquidos de freno, Fuente: ATE (2017)

CAPÍTULO 1

METODOLOGÍA

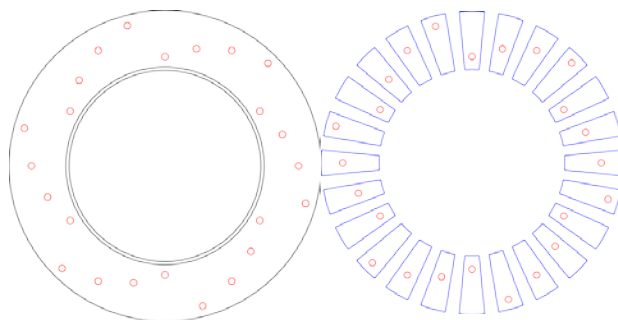
1 DISEÑO DE DISCOS HIPERVENTILADOS Y ADAPTADORES DE SUJECION (BRACKETS)

1.1 Introducción

Para la distribución de las perforaciones y el ranurado de los discos hiperventilados tanto traseros como delanteros los autores Velasquez & Heras (2012) en su proyecto técnico “Diseño, Construcción E Implementación De Un Sistema De Ventilación Para Los Discos De Freno De Un Vehículo Y Sistema De Control De Temperatura”, mencionan que para el diseño de las perforaciones en los discos de freno hay que considerar el lugar de perforación y diámetro del agujero.

Por lo cual, mencionan que los agujeros no deben ser radiales o consecutivos para evitar trizaduras entre ellos y deben realizarse máximo dos perforaciones por cada ducto de ventilación del disco, es decir, uno por cada superficie de contacto, y el diámetro de los agujeros no debe ser mayor a la sección mínima del ducto de ventilación del disco.

Figura 1.1. Perforaciones del disco de freno



Diseño de las perforaciones del disco de freno, Fuente: Velasquez & Heras (2012)

En su proyecto, en base a las dimensiones de los discos originales del vehículo que utilizaron, practicaron un total de 48 agujeros, por cada superficie de contacto realizaron un total de 24 agujeros, y el diámetro de los agujeros no fue mayor a 5 mm ya que la sección mínima del ducto de ventilación es de 11mm, quedando tan solo 3 mm de material sólido a los lados del

agujero. También recomiendan que se debe tener 6 secciones por cada superficie de contacto para que el disco no pierda su balance, esto en caso de tener número par de ductos de ventilación en el disco, como se muestra en la Figura 1.1.

Además, para la verificar la correcta disipación de calor en su diseño realizaron cálculos de transferencia de calor con el diámetro de los agujeros de 5 mm, teniendo en cuenta que el disco de freno recibe dos convecciones en la superficie de contacto, una lateral y la rotatoria.

En el cálculo de convección lateral, primero se calcula la Viscosidad de Denver y con esto se llega a calcular el número de Reynolds, el cual da como resultado un valor menor al número crítico de Reynolds, con lo cual se determinó que es un flujo laminar lo que quiere decir que el aire se desplaza en un mismo volumen y en una misma dirección a través del disco de freno y este es de velocidad uniforme.

Con estos valores calculados, el siguiente parámetro a calcular es el número de Nusselt y con esto, se encuentra el valor de convección para placas planas; se calcula el área de los agujeros en el disco de freno y con todo esto se llega a la velocidad de transferencia de calor desde el disco hacia el ambiente por convección lateral.

De la misma manera realizaron el cálculo para la convección rotatoria, como ya tenían el valor de la viscosidad de Denver, lo primero en calcular fue el número de Reynolds, y al igual que en la convección lateral, dio como resultado un valor menor al número crítico de Reynolds, con lo cual se determinó que es un flujo laminar lo que quiere decir que el aire se desplaza en un mismo volumen y en una misma dirección a través del disco de freno y es de velocidad uniforme.

Con todo esto, calcularon el número de Nusselt y procedieron al cálculo del coeficiente de convección; después calculan la pérdida de calor por convección giratoria para finalmente encontrar la pérdida de calor total por la perforación de los agujeros, esta se consigue sumando la pérdida de calor por convección lateral más la pérdida de calor por convección giratoria.

Con este antecedente, se puede verificar que el diseño a realizar será óptimo para su uso ya que se comprobó mediante los cálculos que realizaron los autores Velasquez & Heras (2012) que la pérdida o disipación de calor se realizará de manera correcta y se tendrá un flujo

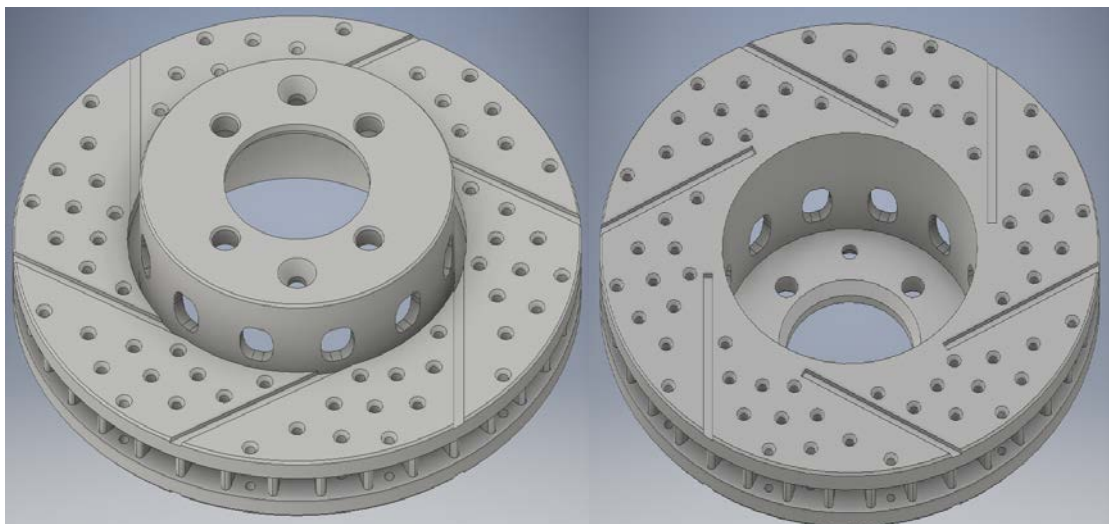
laminar en todo momento, es decir, que el aire se desplazará en un mismo volumen y en una misma dirección a través del disco de freno con una velocidad uniforme; con todo esto se está garantizando que el diseño realizará de manera correcta la pérdida o disipación de calor en el disco hiperventilado a diseñarse.

1.2 Diseño de discos hiperventilados delanteros

Para el diseño de los discos hiperventilados en el presente proyecto, se utilizó el programa CAD Inventor y se seleccionó unos discos ventilados del vehículo Kia Carens del año 2006, esto con la finalidad de tener un mayor dimensionamiento en los discos delanteros.

Para iniciar el diseño se dibujó la geometría de este disco ventilado de fábrica del Kia Carens del año 2006, basándose en el proyecto de los autores Velasquez & Heras (2012), se procedió a medir la sección mínima del ducto de ventilación de los discos que es de 10 mm, esto se realiza para centrar la perforación en los ductos de ventilación y no fisurar el disco, la media de la perforación es de 5 mm, quedando 2.5 mm de material a ambos lados de la perforación. En total en el disco delantero se realizaron 66 perforaciones, 11 perforaciones por cada sección, esto con la finalidad de aligerar el peso de los discos en la parte delantera y no fatigar el rodamiento del eje debido a que se utiliza el mismo mecanismo de fábrica.

Figura 1.2 Disco hiperventilado delantero



Diseño de discos hiperventilados delanteros, Fuente: Autores

El ranurado en el diseño, se debe tener en cuenta que no sean consecutivos a las perforaciones teniendo un rango de inclinación de 45° a 60° , esto para permitir la convección que se ejerce en el disco; el ángulo de inclinación de las ranuras para el disco que se utiliza es a 60° , debido a que así el ranurado tendrá una distancia de 3 mm con las perforaciones y con ello se asegura el ranurado no se va a desgarrar por estar muy cerca de las perforaciones. Como se muestra en la figura 1.2.

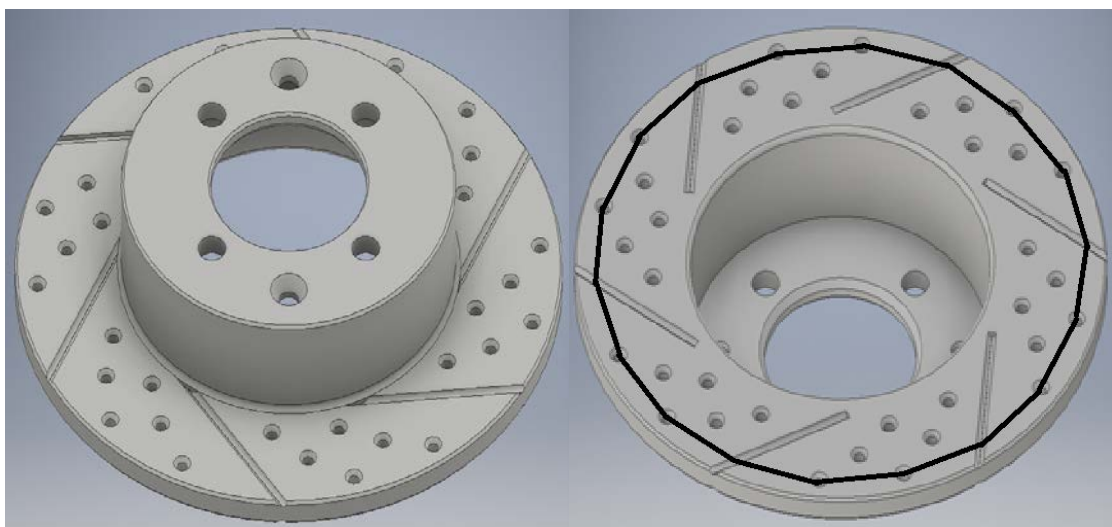
1.3 Diseño de discos hiperventilados traseros

Con respecto al diseño de los discos hiperventilados traseros, se seleccionó unos discos macizos del vehículo Kia Carens del año 2006.

Para iniciar el diseño se dibujó la geometría de este disco macizo de fábrica del Kia Carens del año 2006 en el programa CAD Inventor, y basándose en el proyecto de los autores Velasquez & Heras (2012), se procedió a distribuir las perforaciones en 6 secciones por superficie de contacto, tal como lo recomiendan.

En base a un patrón de polígonos se genera dos columnas en cada sección y cada una de las columnas cuenta 3 perforaciones, se obtiene un total de 6 perforaciones por cada sección; el diámetro de cada perforación es de 5 mm. En total en el disco trasero se realizaron 36 perforaciones en el disco.

Figura 1.3 Disco hiperventilado trasero



Diseño de disco hiperventilado trasero, Fuente: Autores

De igual manera para el ranurado, se fue distribuyendo mediante polígonos. Teniendo como resultado el ángulo de inclinación de las ranuras es a 50°; todo esto mencionan los autores Velasquez & Heras (2012) en su proyecto técnico, como se muestra en la figura 1.3.

Cabe recalcar que el número de perforaciones por sección deben ser las mismas, ya que si estas no coinciden en número, se produciría un desbalance en el disco de freno y el desgaste de este no sería uniforme.

En el momento que el ranurado y el avellanado desaparezcan del disco por el desgaste de su funcionamiento, esto indicará que el disco se encuentra en su espesor mínimo admisible y deberá ser reemplazado por un disco nuevo ya que este cumplió su vida útil.

1.4 Adaptadores de sujeción delanteros y traseros (Brackets)

1.4.1 Selección de materiales para adaptadores de sujeción

1.4.1.1 Acero de transmisión AISI 1018

Es un acero de cementación no aleado de bajo contenido de carbono Calidad AISI 1018, y sus aplicaciones se limitan para cargas mecánicas que no sean tan severas, cabe recalcar que entre más carbono tenga, sus propiedades mecánicas incrementan como la resistencia y dureza; pero la ductilidad, elongación y soldabilidad reduce. Este acero de bajo contenido de carbono es principalmente usado para la elaboración de piezas pequeñas, exigidas al desgaste y donde la dureza del núcleo no es muy importante, como por ejemplo: piezas de máquinas pequeñas, pasadores, grapas, pernos y tuercas, ejes, bujes, etc. (Aceromafe, 2021)

Tabla 1.1. Acero AISI 1018

| Especificación | Acero 1018 |
|----------------------------------|-------------------|
| Resistencia a la tracción | 58,000psi |
| Límite elástico | 32,000psi |
| Estiramiento en 2" | 25% |
| Dureza Brinell | 126 |

Especificaciones Técnicas Acero 1018, Fuente: Aceromafe (2021)

1.4.1.2 Planchas laminadas en caliente (Acero Negro)

Las planchas de acero negro son fabricadas mediante un proceso de calentado, y son unos rodillos industriales los encargados de presionar las planchas y manipular el acero siguiendo criterios y especificaciones de reducción de espesor, esto con la finalidad de obtener: el acero comercial, el acero para fundir, el acero de gran calidad y el acero tanto de mediana como de alta resistencia, de la misma manera se tiene la baja aleación.

Estas planchas se utilizan para la construcción de vigas, puentes, autopartes, equipos mecánicos, estructuras metálicas, etc. (Equipo Ferros Planes, 2018)

Tabla 1.2. Planchas laminadas en caliente

| Especificación | Acero Negro |
|---------------------------|-------------|
| Resistencia a la tracción | 67,000 psi |
| Límite elástico | 45,000 psi |
| Estiramiento en 2" | 25% |
| Dureza Brinell | 137 |

Especificaciones técnicas Acero Negro, Fuente: Equipo Ferros Planes (2018)

1.4.1.3 Selección de material de construcción

La ponderación que se utiliza para para la selección del material debe ser como resultado final 1, en la tabla 1.3 tenemos 5 especificaciones, es decir que cada una tendrá una calificación máxima de 0.2, siendo así que esta indica que es la mejor opción para utilizar, por otro lado, el 0 indica que el material no es apto para su uso.

Tabla 1.3. Material para adaptadores de sujeción

| Especificación | Acero 1018 | Acero Negro |
|---------------------------|------------|-------------|
| Resistencia a la tracción | 0.17 | 0.2 |
| Límite elástico | 0.14 | 0.2 |
| Estiramiento en 2" | 0.14 | 0.2 |
| Dureza Brinell | 0.18 | 0.2 |
| Disponibilidad | 0.16 | 0.18 |
| Total | 0.79 | 0.98 |

Selección de material para la construcción de adaptadores, Fuente: Autores

De acuerdo con la Tabla 1.3, la mejor opción para la construcción de los adaptadores es el acero negro debido a que se obtuvo un valor de 0.98 y es más alto que el acero de transmisión AISI 1018, ya que este material al ser aleado al carbono tiene mejor resistencia y dureza, además en el mercado actual en la ciudad, existe más disponibilidad de planchas de acero negro que de acero que de Acero de transmisión AISI 1018.

También se debe señalar que el límite elástico y la resistencia a la tracción y la dureza Brinell, esta última mide la resistencia del material con respecto a la penetración, son mejores en las planchas de acero negro que en las de acero de transmisión, y para la mecanización de los adaptadores se necesita que el material de fabricación sea lo más resistente y que su límite elástico también sea el más apto para su uso.

Por todas estas razones expuesta, el material elegido para la mecanización de los adaptadores es la plancha de acero negro. En el diseño de los adaptadores de sujeción, se tomó como referencia a los modelos ya existentes en el mercado para otros vehículos. Para este proyecto, se diseñaron ambos adaptadores de acuerdo con la geometría del tren delantero y trasero del vehículo utilizado.

1.4.2 Diseño de adaptadores de sujeción delanteros y traseros (Brackets)

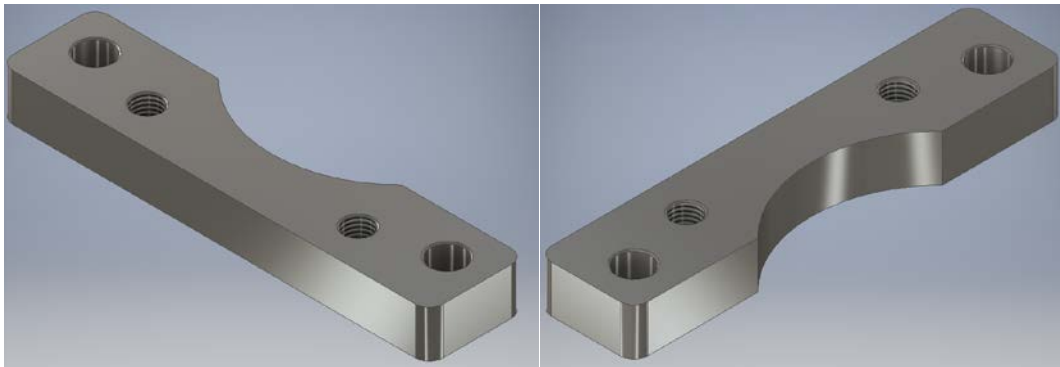
Previo al diseño en el programa CAD Inventor, se tomaron medidas simulando la posición en la que se instalara los calipers y discos del vehículo Kia Carens; una vez ubicados los calipers en la posición de funcionamiento de trabajo, para la ubicación radial del caliper delantero hay que tomar en cuenta que este debe estar ubicado de la misma manera en la que se encontraba el caliper de fábrica para que el adaptador se ensamble al portamasas o mangueta de fábrica. Después, se procede a medir el espesor requerido para los adaptadores de sujeción desde la superficie donde se apoya el caliper del nuevo mecanismo al portamasas o mangueta de la suspensión en el tren delantero en donde se encontraba el caliper de fábrica.

Con respecto a la ubicación radial de los calipers traseros se tomó en cuenta que este no debe entorpecer el accionamiento de la suspensión posterior y también teniendo en cuenta el mecanismo de accionamiento del freno de mano, por ello al momento de diseñar en el programa CAD Inventor, su geometría diseñada es irregular. Para el espesor del adaptador

en el tren posterior, se debe tomar medidas con respecto a la superficie en la que se apoya el caliper a la superficie en la que se encontraba ensamblado el plato portafreno de tambor.

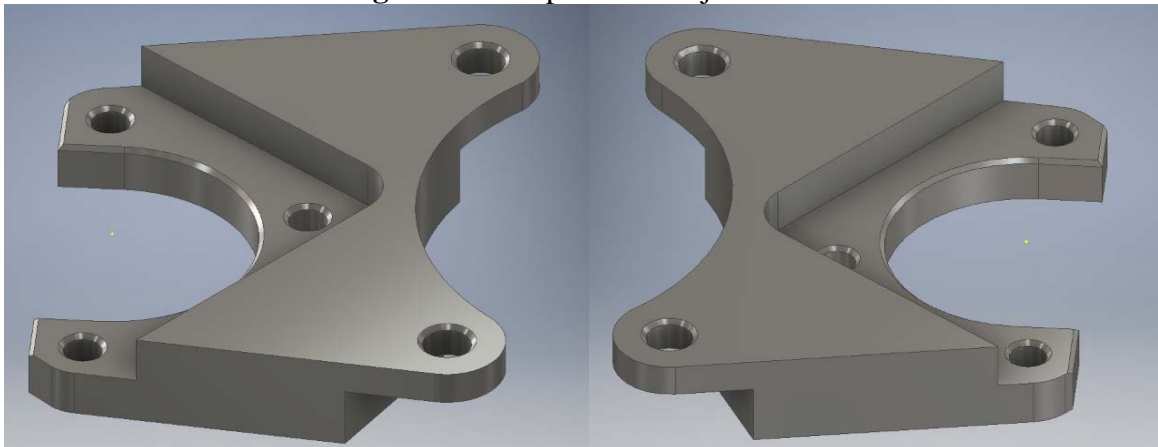
Previo al diseño en el programa CAD Inventor, se realiza una plantilla de los adaptadores para determinar la geometría de estos y además permite definir las perforaciones de sujeción en la superficie del adaptador. Una vez establecido el diseño de la geometría en la plantilla, se diseñó en el programa CAD Inventor para después mecanizar esta pieza en la cortadora de plasma CNC. Así se observa en las figuras 1.4 y 1.5.

Figura 1.4 Adaptador de sujeción delantero



Diseño de adaptadores de sujeción delanteros, Fuente: Autores

Figura 1.5 Adaptador de sujeción trasero

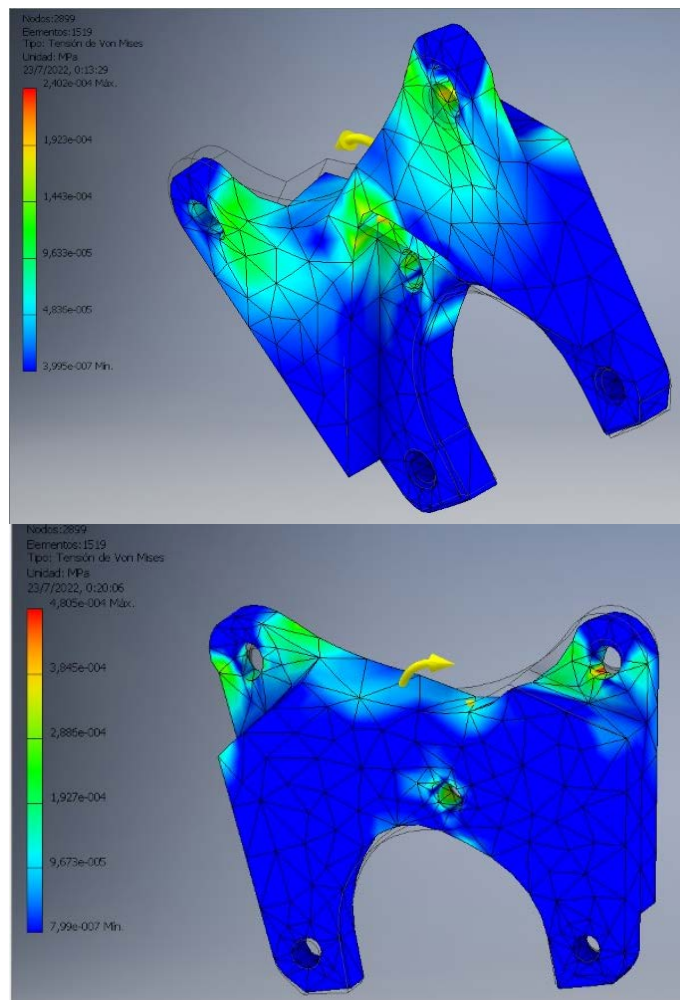


Diseño de adaptadores de sujeción traseros, Fuente: Autores

Además, para asegurarse que el adaptador trasero resista la torsión al momento de accionar el freno en un caso de emergencia, en el programa CAD (Inventor) se realizó una simulación de momento, dando como resultado que el diseño es óptimo para las fuerzas aplicadas al momento de frenar, por ende es aceptable para su mecanización.

Para esta simulación se tomó como par de torsión 4000Nm, este dato se obtuvo a partir de la fuerza de frenado en el eje trasero en un solo lado, y de su distancia del eje, este valor se utilizó por precaución, con un margen de error del 2.24%. Con este antecedente, el programa plantea que los agujeros donde el caliper va unido al adaptador, es la zona que más esfuerzo realiza (Véase la figura 1.6), aun teniendo un momento muy elevado como en el de la simulación, este no se va a pandear, con lo que se puede asegurar que es una pieza aceptable para usar. Esta simulación se la realiza en el adaptador trasero ya que este se encuentra asentado en el eje trasero y los momentos que se tendrá en la pieza serán similares a los de la simulación y serán constantes, con esta simulación se sabe que el adaptador resistirá todos estos momentos que se ejerzan sobre él.

Figura 1.6 Adaptador de sujeción trasero



Análisis de momento en el adaptador trasero, Fuente: Autores

CAPÍTULO 2

2 CONSTRUCCION DE ADAPTADORES DE SUJECION (BRACKETS) Y MECANIZADO DE DISCOS HIPERVENTILADOS

2.1 Calibración de equipos

Es necesario tomar en consideración que al momento de realizar un proceso de mecanizado en cualquier tipo de máquina herramienta a baja velocidad permite dar una mayor profundidad de desbaste, pero con un avance lento. Por otro lado, a alta velocidad de funcionamiento de la máquina herramienta esta permitirá tener una menor profundidad de desbaste, pero un avance más rápido. Este último parámetro es más utilizado al momento de dar el acabado final de la pieza mecanizada.

Cuando el material a ser mecanizado es demasiado duro o tiene un tratamiento térmico superficial, se debe utilizar cuchillas de widia ya que estas permiten dar una mejor profundidad de desbaste. Y si el material a mecanizar es bajo en carbono como lo es el AISI 1018 se deberá utilizar cuchillas HSS (Acero de Alta Resistencia o Acero Rápido).

Con la fresadora vertical Bridgeport se va a realizar la rectificación de caras planas de los adaptadores de sujeción, las perforaciones, ranurado, avellanado y el fresado o destaje de los adaptadores del eje posterior.

Al momento de realizar las perforaciones en la fresadora vertical primero se debe utilizar una broca de centros para que esta sirva de guía a las siguientes brocas. Es decir, se debe empezar a perforar el material desde la broca de menor diámetro hasta llegar al diámetro deseado, esto para que no se llegue a fatigar las brocas y puedan llegar a romperse o cristalizar el material por la alta temperatura generada por la fricción. Con respecto a las velocidades de funcionamiento de la máquina herramienta para las perforaciones se debe tomar en cuenta que las brocas de menor diámetro se pueden utilizar a velocidades altas y las brocas de mayor diámetro se debe utilizar velocidades bajas para que la perforación sea más exacta, evitando vibraciones al momento de perforar y fatiga del material o herramienta.

2.2 Construcción de adaptadores de sujeción

Una vez definido el diseño en el programa CAD Inventor y el material idóneo a mecanizar para los adaptadores de sujeción de los calipers, el cual se realiza mediante la soldadora plasma oxicorte. Este proceso de mecanizado se puede realizar de dos formas:

La primera opción es imprimir los planos a escala real y con la ayuda del pantógrafo se escanea el perfil del plano impreso para que el programa de computadora la soldadora plasma realiza el corte a una plancha metálica ubicada en una mesa de apoyo, todo esto mediante un sistema automatizado por computadora. (dtmaq, 2020)

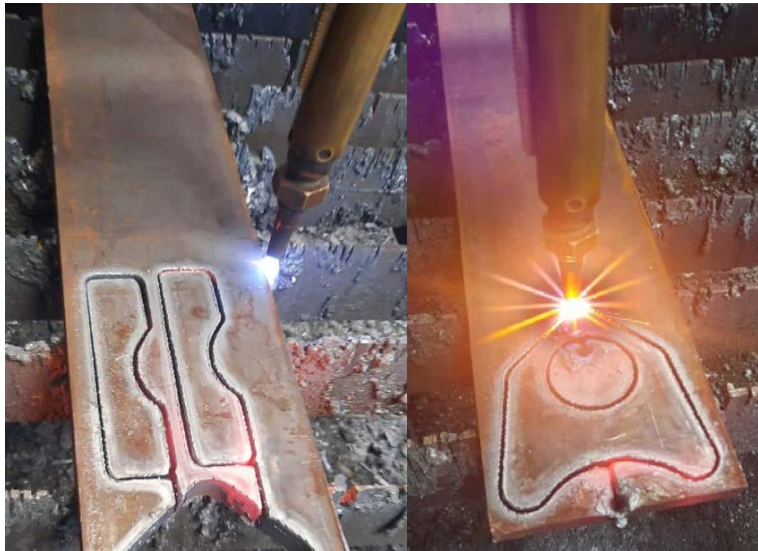
La segunda opción es exportar el plano digital del programa CAD Inventor al programa de la soldadora plasma para que esta máquina herramienta pueda cortar la plancha metálica de manera automatizada por el computador; en este caso, como se observa en la figura 2.1 se utilizó el pantógrafo para realizar el oxicorte.

Figura 2.1. Patrón de corte adaptadores traseros



Pantógrafo para patrón de corte adaptadores traseros, Fuente: Autores

Figura 2.2. Oxicorte de adaptadores delanteros y traseros



Cortadora de plasma-CNC para oxicorte de adaptadores, Fuente: Autores

Hay que tener en cuenta que estas piezas se debe refrentar las caras planas, es decir que a las superficies hay que rectificar para que queden paralelas y de un mismo espesor debido a que por el calor generado por el oxicorte se llegan a pandear. Este proceso se realiza para todos los adaptadores de sujeción de los calipers.

Figura 2.3. Rectificado de adaptadores



Refrentado de superficies de adaptadores de sujeción, Fuente: Autores

El proceso para el desbaste de superficies se lo realiza con un plato de wídias que es una herramienta para desbaste con varias cuchillas de carburo de tungsteno. Se rectifican las caras planas dejando el espesor según el plano y una vez rectificado se perforan los agujeros según el plano en los adaptadores.

Figura 2.4 Perforaciones en adaptadores de sujeción



Fuente: Autores

En el caso de los adaptadores de sujeción traseros se realiza un desbaste o destaje en la fresadora vertical. Utilizando una fresa de acero rápido HSS de diámetro menor a 15 mm para los bordes y para las zonas que no son limitadas por el borde del plano se utiliza una fresa de diámetro mayor a 20 mm o un plato de wídias, a baja velocidad permitiendo mayor profundidad de desbaste.

Figura 2.5 Vaciado Adaptadores Traseros



Fuente: Autores

2.2.1 Mecanizado de discos hiperventilados delanteros y traseros

Primero, se debe separar el disco delantero macizo del Chevrolet Chevette SL (San Remo) el cual este sujeto mediante fundición a la manzana del eje delantero, entonces se procede a cortar con la ayuda una moladora para poder utilizar la manzana como apoyo, ya que en ella se ensambla el nuevo disco hiperventilado de dimensiones superiores al de fábrica.

En el torno se refrenta con una cuchilla HSS de acero rápido las irregularidades generadas por la moladora evitando debilitar la pieza mecánica. Este proceso se realiza a un rango de velocidad de 400 a 600 rpm.

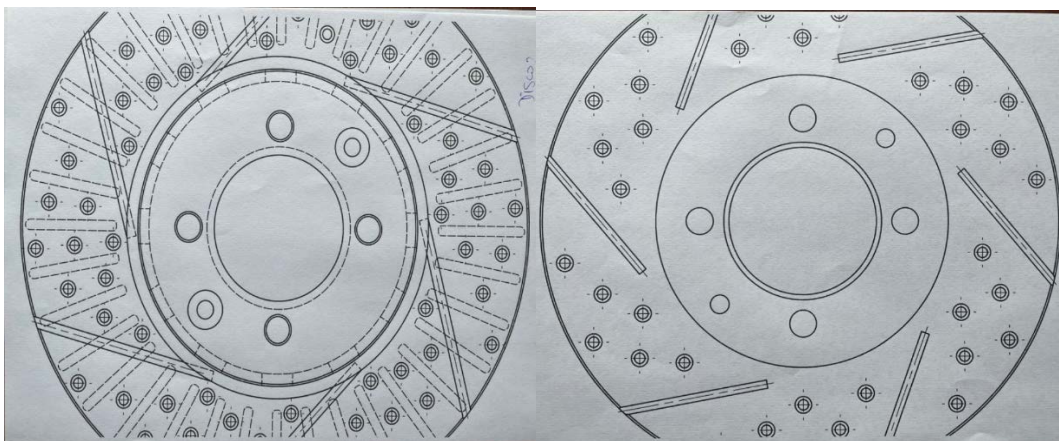
Figura 2.6. Manzana de disco macizo delantero



Mecanizado de la manzana para el disco hiperventilado delantero, Fuente: Autor

Con respecto a la perforación de discos delanteros y posteriores del nuevo sistema, se imprimen los planos generados en el programa CAD Inventor ya definido el diseño y dimensiones. Se recorta la impresión y con esto se genera una plantilla para realizar las perforaciones, ranurados y avellanados en la fresadora vertical Bridgeport.

Figura 2.7. Plantillas para mecanizar discos



Plantilla de discos delanteros y traseros respectivamente, Fuente: Autores

Se imprime 2 plantillas por cada disco, es decir que, se imprimen un total de 8 plantillas y estas se pegan con goma al disco que se mecaniza en la fresadora vertical para utilizar de guía al momento de centrar la broca. En esta plantilla solo se debe tomar en cuenta un solo cuadrante de trabajo para realizar las perforaciones y ranurados.

Figura 2.8 Plantilla pegada al disco de freno



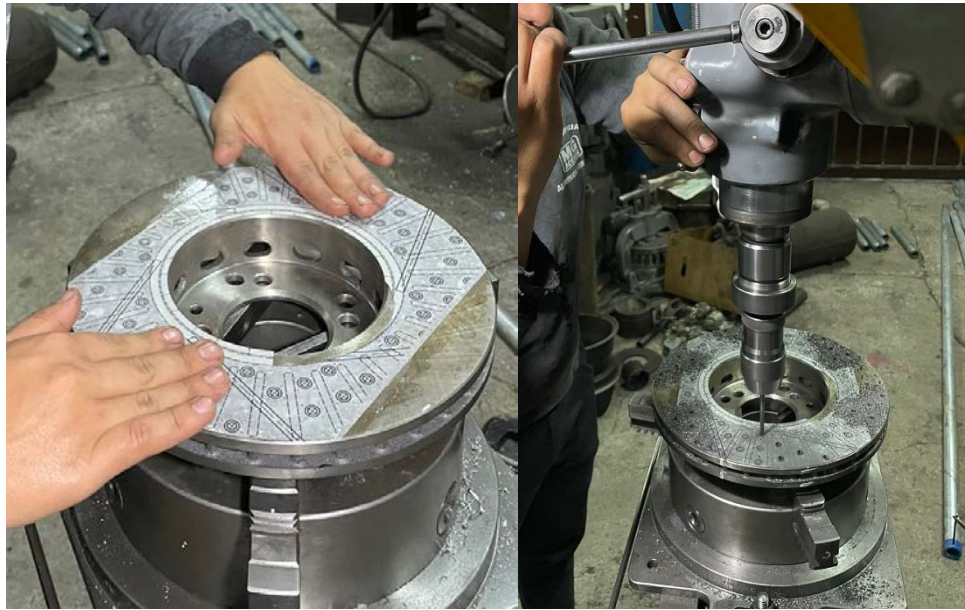
Plantilla pegada en el disco de freno delantero a mecanizar, Fuente: Autores

Una vez pegada la plantilla en el disco de freno, se ubica el disco en el divisor de la fresadora vertical para poder centrar los agujeros del plano con respecto al usillo de la fresadora.

El centrado de los agujeros se realiza con una broca de centros para ser los más exactos posibles. Una vez localizado el centro del agujero del cuadrante principal de trabajo se perfora con una broca de cobalto de 5 mm de diámetro y después se gira el divisor a 60° para volver a perforar, se debe girar el divisor una vuelta (360°) para volver a centrar otro agujero diferente en la plantilla. Por esta razón se utiliza el divisor y no una entenalla que sujete el disco.

Al ser una broca de diámetro pequeño se utiliza un rango de velocidad de trabajo de 800 a 1200 rpm, esta velocidad depende del afilado de la cuchilla y del tipo de material a perforar. En este caso el material a perforar es hierro fundido, este es un material muy suave para mecanizar y permisible altas velocidades de mecanización.

Figura 2.9. Plantilla y perforaciones del disco de freno



Fuente: Autores

El proceso de ranurado se realiza en la fresadora vertical en el mismo divisor para poder realizar las 6 ranuras a 60° respectivamente. Se gira el cabezal con respecto al eje “Y” de la fresadora a unos 50° para que el usillo de la máquina herramienta no golpee con la pieza a mecanizar en la parte de alto relieve. Además, ubicar la fresa a este ángulo asegura que el avance del desbaste por arranque de viruta o el desgaste del material es más rápido ya que si se encuentra de manera vertical puede llegar a pandearse o romperse.

Rigiéndose en el plano, con la ayuda de una fresa de 5 mm de diámetro se realiza el ranurado a la profundidad establecida por el espesor mínimo admisible del disco de freno, es decir, esta ranura debe desaparecer al momento que el disco llegue a su espesor mínimo de funcionamiento o vida útil.

Esta operación se baja la velocidad en comparación a las perforaciones de 1200 a 1500 rpm para que se pueda realizar pasadas más profundas y al para el acabado final se aumenta la velocidad de 2600 a 3000 rpm para dejar un acabado más uniforme. Este procedimiento se realiza en las dos caras del disco de freno, teniendo en cuenta que la inclinación de las ranuras debe ser simétricas.

Figura 2.10 Ranurado de discos



Avellanado de Discos Delanteros con Broca, Fuente: Autores

Como último proceso de mecanizado en los discos de freno se realizan los avellanados a la misma profundidad que se hacen los ranurados.

Los avellanados se los realiza en la misma fresadora vertical, estos deben ser realizados con una fresa avellanadora a 90° , cabe recalcar que estos avellanados se los puede realizar con una broca la cual debe estar afilada a 90° y debe ser mayor al diámetro de los agujeros. Este procedimiento se realiza a las dos superficies tanto para los discos delanteros y para los discos traseros.

Figura 2.11. Avellanado de discos hiperventilados



Avellanado de Discos Delanteros con Broca Fuente: Autores

CAPITULO 3

3 SELECCIÓN DE BOMBA DE FRENO

3.1 Introducción

La bomba de freno envía el líquido de freno a una cierta presión por todo el sistema de frenos. Actualmente los fabricantes de vehículos se han visto obligados a incorporar bombas de freno de doble circuito ya que la normativa reciente así lo exige.

El sistema doble émbolo consiste en dos pistones colocados en serie, encargados de suministrar el líquido necesario a una presión constante para ambos circuitos del sistema de frenos, la distribución en “X” del circuito de frenos es la más utilizada en autos turismo. Entonces tiene un circuito que afecta la rueda delantera izquierda y la rueda trasera derecha al mismo tiempo, y otro circuito que afecta la rueda delantera derecha y la rueda trasera izquierda, es una característica de seguridad en caso de que haya una pérdida de rendimiento en uno de los dos circuitos (Guerra, 2021)

Figura 3.1 Bomba tándem



Bomba tándem Chevrolet Chevette despiezada, Fuente: Autores

3.2 Relación Bomba-pistón del caliper y Presión en todo el sistema de frenos

Para seleccionar la bomba ideal en para el vehículo, primero se debe calcular cual es la relación de la bomba con respecto al caliper en el sistema estándar y la presión de trabajo en todo el sistema.

$$F1 = \frac{F \cdot L_1}{L_2} \quad (3.1)$$

Donde:

F1 = Fuerza Aplicada en el embolo de la bomba

F = Fuerza aplicada en el pedal de freno = 400 N

L₁ = Longitud del pedal hasta la conexión al servofreno = 20 cm

L₂ = Longitud desde la conexión hasta el final de la palanca de freno = 5 cm

Cabe mencionar que la fuerza aplicada en el freno es un dato estándar ya que como menciona el autor Méndez (2018), “en un frenado de emergencia, un conductor es capaz de ejercer 400 N de fuerza sobre el pedal del freno sin fatigarse”.

Entonces reemplazando todos los datos en la fórmula se obtiene que la fuerza aplicada en el émbolo de la bomba es de 1600 N.

Después de esto, se procede a calcular el área o superficie del embolo de la bomba y la presión de todo el circuito con las siguientes formulas:

$$S1 = \frac{\pi \cdot (D_1)^2}{4} \quad (3.2)$$

Donde:

S1 = Superficie del embolo de la bomba

D₁ = Diámetro del embolo de la bomba estándar = 2.04 cm

Entonces se obtiene que la superficie del embolo de la bomba estándar es de 3.27 cm^2 , con este dato ahora se puede calcular la presión de todo el sistema así:

$$p = \frac{F1}{S1} \quad (3.3)$$

Donde:

$F1$ = Fuerza Aplicada en el embolo de la bomba = 1600 N

$S1$ = Superficie del embolo de la bomba = 3.27 cm^2

Con esto se obtiene que la presión en todo el circuito será de 489.52 N/cm^2 , lo que equivale a 48.95 bares.

Se procede a calcular la superficie del pistón del caliper y la fuerza del pistón del caliper de fábrica, con ello se calcula la relación de la bomba estándar.

$$S2 = \frac{\pi \cdot (D_2)^2}{4} \quad (3.4)$$

Donde:

$S2$ = Superficie del pistón del caliper

D_2 = Diámetro del pistón del caliper = 4.8 cm

La superficie del pistón del caliper es igual a 18.10 cm^2 , ahora se calcula la fuerza del pistón del caliper de fábrica

$$F2 = p \cdot S2 \quad (3.5)$$

Donde:

$F2$ = Fuerza Aplicada en el pistón del caliper

$S2$ = Superficie del pistón del caliper = 18.10 cm^2

p = Presión en todo el circuito = 489.52 N/cm^2

Como resultado se obtiene que la fuerza en el pistón de los calipers de fábrica es de 8.858 kN. Con este dato se procede a calcular la relación de la bomba estándar.

$$\text{Relacion bomba} - \text{piston caliper} = \frac{F2}{F1} \quad (3.6)$$

Donde:

F2 = Fuerza aplicada en el pistón de los calipers = 8858.13 N

F1 = Fuerza Aplicada en el embolo de la bomba = 1600 N

Esto da como resultado que la bomba estándar tiene una relación de 5.53:1

3.3 Centro de gravedad

Para el cálculo del centro de gravedad del vehículo a estudiar, se utiliza los siguientes datos:

Distancia entre ejes = D ejes = 239.5 cm

Peso total = P total = 976 kg

Peso eje delantero con vehículo nivelado = PD horiz = 525 kg

Peso eje delantero con eje trasero elevado = PD elev = 544.8 kg

Altura elevada del eje trasero = A elev = 25 cm

Radio de la rueda = R rueda = 28.8 cm

Estos datos mencionados, se pueden observar en los anexos (Pág. 8 Anexos), y se los encontró en el frenómetro.

El autor García (2015), la fórmula a utilizar para encontrar el centro de gravedad es la siguiente:

$$HcG = \frac{D \text{ ejes} \cdot (PD \text{ elev} - PD \text{ horiz})}{P \text{ total} \left(\frac{A \text{ elev}}{\sqrt{D \text{ ejes}^2 - A \text{ elev}^2}} \right)} + R \text{ rueda} \quad (3.7)$$

Donde:

HcG = Altura del centro de gravedad

Sustituyendo todos los datos en la fórmula, se obtiene que la altura del centro de gravedad del Chevrolet San Remo SL (Chevette año 86) es de 75.1 cm con respecto al suelo.

3.4 Cálculo de Bomba ideal de freno

El autor Carpio Cueva (2018), en su proyecto técnico “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE FRENOS DE UN VEHÍCULO DE COMPETENCIA FORMULA SAE ELÉCTRICO”, realiza los cálculos para encontrar una bomba que se ajuste a sus necesidades, en el presente proyecto se realizaron los mismos cálculos con la excepción del cálculo de las fuerzas de frenado, esto debido a que dichas fuerzas se encontraron en el frenómetro, además el error porcentual aproximado para este cálculo es de un $\pm 5\%$.

Cabe mencionar que el coeficiente de fricción de las pastillas de freno viene dado por el fabricante, en este caso, las pastillas de freno son Hi-Q FF, la cual se menciona que tiene un coeficiente de fricción de 0.4.

Además, el coeficiente de fricción de la calzada es de 0.34474, este dato se lo obtuvo en el frenómetro al momento de realizar la prueba de frenado.

Como datos para el cálculo de la bomba, se tiene los siguientes datos:

Tabla 3.1. Datos para calcular la bomba

| DATOS | SIGLAS | VALOR | UNIDAD |
|---|----------------|---------|--------|
| Distancia del centro de gravedad al eje delantero | Deje delantero | 1.2883 | m |
| Distancia del centro de gravedad al eje posterior | Deje trasero | 1.1067 | m |
| Peso total del vehículo incluido el conductor | Pt | 976 | kg |
| Distancia entre ejes | D ejes | 2.395 | m |
| Altura del centro de gravedad | HcG | 0.751 | m |
| Peso | P | 9574.56 | N |

| | | | |
|--|-----------------------|---------|--------|
| Fuerza aplicada en el pedal de freno | F pedal | 400 | N |
| Relación de la Bomba | Relación bomba-pistón | 5.53:1 | S/N |
| Coefficiente de fricción de las pastillas de freno | u | 0.4 | S/N |
| Fuerza G | G | 1.5 | S/N |
| Coefficiente de fricción de la calzada | Cf | 0.34474 | S/N |
| Fuerza de frenado en el eje delantero | Pf,d | 3328 | N |
| Fuerza de frenado en el eje posterior | Pf,t | 3328 | N |
| Diámetro de la rueda | D rueda | 0.576 | m |
| Radio del disco delantero | R delantero | 0.14 | m |
| Radio del disco trasero | R trasero | 0.125 | m |
| Numero de pistones del caliper nuevo | #pistones | 1 | unidad |
| Diámetro del pistón caliper delantero | Dpistondel | 57 | mm |
| Diámetro del pistón caliper posterior | Dpistontra | 30 | mm |

Datos para calcular la bomba ideal de freno, Fuente: Autores

Primero se calcula la distribución de pesos en el eje delantero ($P_{\text{eje delantero}}$) y en el trasero ($P_{\text{eje trasero}}$), esto con las siguientes formulas:

$$P_{\text{eje delantero}} = \frac{Pt \cdot \left(\frac{a_2}{a_1 + a_2}\right)}{Pt} * 100 \quad (3.8)$$

$$P_{\text{eje trasero}} = \frac{Pt \cdot \left(\frac{a_1}{a_1 + a_2}\right)}{Pt} * 100 \quad (3.9)$$

Se resuelve las ecuaciones (3.8) y (3.9), y se tiene que la distribución en el eje delantero es de 53.79% y en el eje posterior es de 46.21%.

Para calcular las distancias del centro de gravedad al eje delantero y trasero, de acuerdo con el autor García (2015), se utilizan la distribución de los ejes y se multiplica por la distancia entre ejes, así:

$$D_{\text{eje delantero}} = P_{\text{eje delantero}} * D_{\text{ejes}} \quad (3.10)$$

$$D_{\text{eje trasero}} = D_{\text{ejes}} - D_{\text{eje delantero}} \quad (3.11)$$

10

La distancia del centro de gravedad (HcG) al eje delantero es de 1.2883 m, y la distancia hacia el eje trasero es de 1.1067 m.

Ahora, habiendo encontrado la distribución de los pesos y las distancias del centro de gravedad al eje delantero y trasero, se calcula las fuerzas normales para cada eje, Fz1 para el eje delantero y Fz2 para el eje trasero, así:

$$Fz1 = P_{\text{eje delantero}} * P \quad (3.12)$$

$$Fz2 = P_{\text{eje trasero}} * P \quad (3.13)$$

Se resuelve las ecuaciones (3.12) y (3.13), y se obtiene que la fuerza normal en el eje delantero es 5150.27 N y la fuerza normal en el eje posterior es de 4424.29 N.

Ahora ya calculado las fuerzas normales, se procede a encontrar la transferencia de pesos, esto como se especificó en la tabla 4, se utiliza una fuerza G de 1.5 en la siguiente formula:

$$TP = G * \frac{HcG}{D_{\text{ejes}}} * P \quad (3.14)$$

Entonces, si se sustituye los datos en la ecuación (3.14), se obtiene 4503.44 N, esta transferencia de pesos de suma a la fuerza normal en el eje delantero y posterior, esto para encontrar las fuerzas aplicadas tanto en el eje delantero como en el posterior, así:

$$Pd, d = TP + Fz1 \quad (3.15)$$

$$Pd, t = TP + Fz2 \quad (3.16)$$

Ahora se sustituye los datos en las ecuaciones (3.15) y (3.16), se obtiene que la fuerza aplicada en el eje delantero ($P_{d,d}$) es 9653.72 N y la fuerza aplicada en el eje posterior ($P_{d,t}$) es de 8927.73 N.

Después, como ya se conocen las fuerzas de frenado en el eje delantero y posterior, se procede a sumarlas para encontrar la fuerza de frenado máxima (F_{max}) que se ejerce en el vehículo.

$$F_{max} = P_{f,d} + P_{f,t} \quad (3.17)$$

Entonces se obtiene como fuerza de frenado máxima 6336 N, cabe recalcar que las fuerzas de frenado se encontraron en el frenómetro, por esa razón ya no se las calculo.

Ahora ya con la fuerza máxima de frenado calculada y sabiendo las fuerzas de frenado tanto en el eje delantero como posterior, se procede a calcular el par de frenado en ambos ejes, y con ello se calcula la fuerza de fricción en los calipers delanteros y traseros.

$$N_d = P_{f,d} * D_{rueda} \quad (3.18)$$

$$N_t = P_{f,t} * D_{rueda} \quad (3.19)$$

Entonces se encuentra que el par de frenado en el eje delantero (N_d) es de 1916.93 Nm y en el eje posterior (N_t) es de 1732.61 Nm, ahora se calcula la fuerza de fricción en los calipers tanto delanteros como traseros.

$$F_{delantero} = \frac{\frac{N_d}{2}}{R_{delantero}} \quad (3.20)$$

$$F_{trasero} = \frac{\frac{N_t}{2}}{R_{trasero}} \quad (3.21)$$

En este caso, como indica el autor Carpio Cueva (2018), para el cálculo de la fuerza de fricción se divide el par de frenado para dos, ya que cada eje cuenta con dos ruedas, y teóricamente el par de frenado para cada una de las ruedas es la misma en su respectivo eje.

Entonces, si se sustituye todos los datos en la fórmula, se encuentra que la fuerza de fricción en el caliper delantero ($F_{\text{delantero}}$) es de 6846.17 N, mientras que la fuerza de fricción en el caliper trasero (F_{trasero}) es de 6930.43 N.

Con los nuevos datos encontrados se procede a calcular la fuerza generada en los calipers y la fuerza en el pistón del caliper.

$$F \text{ generada calipers} = \frac{F_{\text{trasero}}}{\mu * 2} \quad (3.22)$$

$$F \text{ pistón caliper} = \frac{F \text{ generada calipers}}{\#\text{pistones}} \quad (3.23)$$

La fuerza que se genera en los calipers es de 8663.04 N, y con ello la fuerza que se genera en el pistón del caliper, ya que es uno, es la misma fuerza generada en el caliper, es decir la fuerza en el pistón del caliper es de 8663.04 N.

Con todos los datos calculados previamente y con los datos de la tabla 3.1, se procede a calcular la fuerza que necesita la nueva bomba, el área del pistón del caliper delantero, y con ello, aplicando la ley de pascal, se encuentra el área de la bomba y con ello su diámetro.

$$F \text{ bomba} = F \text{ pedal} * \text{Relación}_{\text{bomba-pistón}} * P_{\text{eje delantero}} \quad (3.24)$$

Se encuentra que la fuerza de la bomba es de 1189.86 N; ahora el siguiente paso es realizar el cálculo del área del pistón del caliper delantero.

$$A_{\text{piston-delantero}} = \frac{\pi * D_{\text{piston del}}^2}{4} \quad (3.25)$$

El área del pistón delantero es de 2551.76 mm². Ya con todos los datos encontrados, finalmente se calcula el área de la bomba mediante el principio de Pascal por ende, encontrando su área se puede encontrar el diámetro de bomba que se necesita.

$$\frac{F_{\text{Bomba}}}{A_{\text{Bomba}}} = \frac{F_{\text{pistón}}}{A_{\text{pistón}}} \quad (3.26)$$

$$A_{bomba} = \frac{A_{pistón} * F_{bomba}}{F_{pistón}} \quad (3.27)$$

Despejando la ecuación 3.26, que es el principio de pascal, el cual menciona que “la presión ejercida sobre un fluido incompresible y en equilibrio dentro de un recipiente de paredes indeformables se transmite con igual intensidad en todas las direcciones y en todos los puntos del fluido” (Cengel & Cimbala, 2006), da como resultado el área de la bomba de frenos ideal, la cual sustituyendo los datos da como resultado 350.48 mm². Ahora como paso final, se aplica la fórmula del área de un círculo para poder obtener el diámetro de la bomba, así:

$$A_{bomba} = \frac{\pi * D_{bomba}^2}{4} \quad (3.28)$$

$$D_{bomba} = \sqrt{\frac{A_{bomba} * 4}{\pi}} \quad (3.29)$$

Despejando la ecuación 3.28, se tiene como resultado la ecuación 3.29, que es la ecuación que se necesita para saber el diámetro ideal para la bomba, y sustituyendo todos los datos en esta ecuación, se tiene como resultado que el diámetro de la bomba será igual a 21.12 mm, con esto se busca una bomba que sea similar a estas características, y es la bomba 13/16 pulgadas, en este caso se elige una de carrera corta, ya que se necesita que el fluido llegue más rápido a los circuitos de frenado.

CAPITULO 4

4 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

4.1 Introducción

Las pruebas realizadas para demostrar que el sistema adaptado cumple con lo planteado en el proyecto, se realizó 3 tipos de pruebas.

- Prueba según norma ISO 21069-2
- Prueba de ruta a 60 km/h, 80 km/h y 100 km/h para medir desplazamiento
- Prueba de ruta para medición de temperaturas

4.1.1 Descripción del vehículo

El vehículo al cual se le realizó la adaptación es el Chevrolet San Remo SL también conocido como Chevette del año 1986, el sistema de frenos de fábrica en el eje delantero es de discos macizos, mientras que en el eje trasero es de tambores.

Para saber sus especificaciones técnicas, revise la Página 5 de Anexos.

Figura 4.1. Chevrolet Chevette (San Remo SL)



Fuente: Autores

4.1.2 Prueba según norma ISO 21069-2

La primera prueba corresponde a lo detallado en la norma ISO 21069-2, la cual es para vehículos con sistemas de frenado que son de aire sobre sistemas de frenado hidráulicos y puramente hidráulicos. Para esta prueba se necesita un frenómetro para realizarla.

La Norma ISO 21069-2, especifica el método de ensayo mediante el cual se utiliza un frenómetro de rodillos para medir, evaluar y registrar la eficacia de frenado de los vehículos de carretera que están equipados con sistemas de frenado de aire sobre hidráulicos o puramente hidráulicos. Esta norma también se aplica a los sistemas electrónicos de frenado (EBS). (Organización Internacional de Estandarización, 2008)

Para realizar esta prueba, detallan los siguientes pasos:

Preparación del frenómetro de vehículos y rodillos

- Los rodillos y neumáticos deberán estar limpios.
- La presión de los neumáticos se ajustará de acuerdo con las recomendaciones del fabricante del vehículo.
- La instrumentación adicional puede medir la carga estática del eje sin que los rodillos funcionen.
- La prueba de frenado, a efectos de la inspección oficial del vehículo, se realizará en un frenómetro de rodillos homologado por los servicios técnicos. Los datos del vehículo y los valores medidos se registrarán en la dirección de avance.

Además se detalla que para los sistemas de frenado hidráulico, se recomienda realizar la prueba únicamente en condiciones de carga completa. Para condiciones de carga parcial, se recomienda encarecidamente una simulación de carga.

Los resultados de esta prueba serán:

- a) fuerza de frenado total medida;
- b) variación de la fuerza de frenado en cada rueda/eje;
- c) Eficacia de frenado en ambos ejes.

4.1.3 Prueba de ruta para medir el desplazamiento de frenado

Además de la prueba en el frenómetro, se realizó una prueba de ruta para medir la distancia de frenado con el sistema de frenos de fábrica y con el sistema de frenos adaptado, para la recolección de los datos se utilizó la aplicación GPS Logger, estas pruebas de ruta consisten en:

Descripción de las pruebas

1. Acelerar hasta llegar a las velocidades de 60 km/h, 80 km/h y 100 km/h
2. Poner en neutro al vehículo y aplicar el pedal de freno hasta que el vehículo se detenga por completo
3. Con la aplicación GPS Logger, medir el tiempo de frenado, la distancia de frenado y la velocidad desde el momento de accionamiento del freno.

4.1.4 Prueba de ruta para medición de temperaturas

Se realizó una tercera prueba, con el sistema de frenos de fábrica y con el sistema de frenos adaptados, para la medición de temperaturas se utilizó un pirómetro; esta prueba se realizó de la siguiente manera:

Descripción de la prueba

1. Medir la temperatura de los frenos antes de realizar la prueba, debe rondar los 40°C
2. En una pendiente en bajada, acelerar hasta los 90 km/h, después aplicar el freno en cuarta marcha progresivamente hasta detener el vehículo
3. Medir las temperaturas de los cuatro frenos después de realizar la prueba

Para la prueba de ruta con el sistema de frenos de disco, el lado del piloto se ensambló con discos de freno hiperventilados mientras que el lado del copiloto fue ensamblado con los discos de freno sin mecanizar.

RESULTADOS DE LAS PRUEBAS

4.2 Pruebas de funcionamiento para el sistema de frenos de fábrica y sistema de discos de freno hiperventilados adaptado

4.2.1 Prueba según norma ISO 21069-2

Esta prueba se realizó con el sistema de frenos de fábrica en un frenómetro, con la empresa Rapi-Frenos ubicada en el norte de la ciudad. Para esto el vehículo se encontraba de la siguiente manera:

Tabla 4.1. Datos del vehículo

| Característica | Valor |
|----------------|-----------|
| Peso | 976 kg |
| Llantas | 195/50R15 |

Condiciones del vehículo para la prueba, Fuente: Autores

Los resultados obtenidos en las pruebas en el frenómetro con el sistema de frenos de fábrica son:

Tabla 4.2. Frenómetro con sistema de fábrica

| <i>Característica</i> | <i>Valor</i> | <i>Unidad de medida</i> |
|--------------------------------------|--------------|-------------------------|
| P rueda delantera izq. | 278 | Kg |
| P rueda delantera der. | 247 | Kg |
| P rueda trasera izq. | 223 | Kg |
| P rueda trasera der. | 228 | Kg |
| Fuerza de frenado máxima de servicio | 6.337 | kN |
| Fuerza de frenado rueda del. Izq. | 1.764 | kN |
| Fuerza de frenado rueda del. Der. | 1.564 | kN |
| Fuerza de frenado rueda tra. Izq. | 1.668 | kN |
| Fuerza de frenado rueda tra. Der. | 1.340 | kN |
| Fuerza de frenado máxima de mano | 1926 | kN |

| | | |
|--|-------|----|
| Fuerza de frenado de mano rueda tra. Izq. | 1080 | kN |
| Fuerza de frenado de mano rueda tra. Der. | 0.846 | kN |
| Eficiencia de frenado en todo el sistema de servicio | 66 | % |
| Eficiencia de frenado en el eje delantero | 66 | % |
| Eficiencia de frenado en el eje trasero | 68 | % |
| Eficiencia de frenado en el sistema de freno de mano | 20 | % |

Resultados en el frenómetro con el sistema de fábrica, Fuente: Autores

Después, se realiza la misma prueba en el frenómetro con el sistema de discos de freno hiperventilados a las 4 ruedas.

Para esta prueba el vehículo tiene los siguientes datos:

Tabla 4.3 Datos del vehículo

| <i>Característica</i> | <i>Valor</i> |
|-----------------------|--------------|
| Peso | 1001 kg |
| Llantas | 195/50R15 |

Condiciones del vehículo para la prueba, Fuente: Autores

Los resultados obtenidos en las pruebas en el frenómetro con el sistema de frenos adaptados de discos hiperventilados:

Tabla 4.4 Frenómetro con sistema adaptado

| <i>Característica</i> | <i>Dato</i> | <i>Unidad de medida</i> |
|--------------------------------------|-------------|-------------------------|
| P rueda delantera izq. | 284 | Kg |
| P rueda delantera der. | 260 | Kg |
| P rueda trasera izq. | 226 | Kg |
| P rueda trasera der. | 231 | Kg |
| Fuerza de frenado máxima de servicio | 7.200 | kN |
| Fuerza de frenado rueda del. Izq. | 2.337 | kN |
| Fuerza de frenado rueda del. Der. | 2.346 | kN |
| Fuerza de frenado rueda tra. Izq. | 1.471 | kN |

| | | |
|--|-------|----|
| Fuerza de frenado rueda tra. Der. | 1.043 | kN |
| Fuerza de frenado máxima de mano | 1.266 | kN |
| Fuerza de frenado de mano rueda tra. Izq. | 0.799 | kN |
| Fuerza de frenado de mano rueda tra. Der. | 0.467 | kN |
| Eficiencia de frenado en todo el sistema de servicio | 73 | % |
| Eficiencia de frenado en el eje delantero | 88 | % |
| Eficiencia de frenado en el eje trasero | 56 | % |
| Eficiencia de frenado en el sistema de freno de mano | 13 | % |

Resultados en el frenómetro con el sistema de frenos adaptado, Fuente: Autores

El sistema de freno de mano del mecanismo de fábrica en este vehículo es mecánico, este se acciona mediante un cable en el sistema de frenos de tambor en el eje trasero. En el sistema de frenos hiperventilados adaptado, el sistema de freno de mano se sigue accionando desde la palanca ubicada en el habitáculo, y se mantiene como mecanismo mecánico debido a que los calipers utilizados también poseen un accionamiento mecánico para el freno de mano.

4.2.1.1 Prueba realizada a 60 km/h

Los resultados obtenidos en las pruebas de ruta con el sistema de frenos de fábrica a 60 km/h fueron los siguientes:

Tabla 4.5. Prueba de ruta a 60 km/h

| Prueba a 60 km/h | | | |
|------------------|------------|------------------|---------------|
| Numero | Tiempo (s) | Velocidad (km/h) | Distancia (m) |
| 1 | 0 | 60 | 0 |
| 2 | 1.00 | 51.43 | 8.43 |
| 3 | 2.00 | 42.86 | 16.86 |
| 4 | 3.00 | 34.29 | 25.29 |
| 5 | 4.00 | 25.71 | 33.71 |
| 6 | 5.00 | 17.14 | 42.14 |
| 7 | 6.00 | 8.57 | 50.57 |
| 8 | 7 | 0.00 | 59 |

Prueba a 60 km/h con frenos de fábrica, Fuente: Autores

Mientras que los resultados obtenidos en las pruebas con el sistema de frenos de discos hiperventilados en las cuatro ruedas, se tiene:

Tabla 4.6 Prueba de ruta a 60 km/h

| Prueba a 60 km/h | | | |
|-------------------------|-------------------|-------------------------|----------------------|
| Numero | Tiempo (s) | Velocidad (km/h) | Distancia (m) |
| 1 | 0 | 60 | 0 |
| 2 | 1.00 | 54.67 | 8.60 |
| 3 | 2.00 | 40.61 | 17.20 |
| 4 | 3.00 | 28.90 | 25.80 |
| 5 | 4.00 | 17.25 | 34.40 |
| 6 | 5.00 | 0 | 43 |

Prueba a 60 km/h con frenos hiperventilados, Fuente: Autores

4.2.1.2 Prueba realizada a 80 km/h

Los resultados obtenidos en las pruebas de ruta con el sistema de frenos de fábrica fueron los siguientes:

Tabla 4.7. Prueba de ruta a 80 km/h

| Prueba a 80 km/h | | | |
|-------------------------|-------------------|-------------------------|----------------------|
| Numero | Tiempo (s) | Velocidad (km/h) | Distancia (m) |
| 1 | 0 | 80 | 0 |
| 2 | 1.00 | 68.57 | 10.86 |
| 3 | 2.00 | 57.14 | 21.71 |
| 4 | 3.00 | 45.71 | 32.57 |
| 5 | 4.00 | 34.29 | 43.43 |
| 6 | 5.00 | 22.86 | 54.29 |
| 7 | 6.00 | 11.43 | 65.14 |
| 8 | 7 | 0.00 | 76 |

Prueba a 80 km/h con frenos de fábrica, Fuente: Autores

Mientras que para el nuevo sistema se obtuvo los siguientes resultados:

Tabla 4.8 Prueba de ruta a 80 km/h

| Prueba a 80 km/h | | | |
|-------------------------|-------------------|-------------------------|----------------------|
| Numero | Tiempo (s) | Velocidad (km/h) | Distancia (m) |
| 1 | 0 | 80 | 0 |
| 2 | 1.00 | 74.32 | 11.40 |
| 3 | 2.00 | 58.69 | 22.80 |
| 4 | 3.00 | 36.04 | 34.20 |
| 5 | 4.00 | 20.28 | 45.60 |
| 6 | 5.00 | 0 | 57.00 |

Prueba a 80 km/h con frenos hiperventilados, Fuente: Autores

4.2.1.3 Prueba realizada a 100 km/h

Los resultados que se obtienen al realizar esta prueba con el sistema de frenos de fábrica son los siguientes:

Tabla 4.9. Prueba de ruta a 100 km/h

| Prueba a 100 km/h | | | |
|--------------------------|-------------------|-------------------------|----------------------|
| Numero | Tiempo (s) | Velocidad (km/h) | Distancia (m) |
| 1 | 0 | 100 | 0 |
| 2 | 1.00 | 88.89 | 13.11 |
| 3 | 2.00 | 77.78 | 26.22 |
| 4 | 3.00 | 66.67 | 39.33 |
| 5 | 4.00 | 55.56 | 52.44 |
| 6 | 5.00 | 44.44 | 65.56 |
| 7 | 6.00 | 33.33 | 78.67 |
| 8 | 7.00 | 22.22 | 91.78 |
| 9 | 8.00 | 11.11 | 104.89 |
| 10 | 9 | 0 | 118 |

Prueba a 100 km/h con frenos de fábrica, Fuente: Autores

Para el sistema de frenos adaptado, se obtuvo los siguientes datos:

Tabla 4.10 Prueba de ruta a 100 km/h

| Prueba a 100 km/h | | | |
|-------------------|------------|------------------|---------------|
| Numero | Tiempo (s) | Velocidad (km/h) | Distancia (m) |
| 1 | 0 | 100 | 0 |
| 2 | 1.00 | 98.2 | 14.17 |
| 3 | 2.00 | 82.56 | 28.33 |
| 4 | 3.00 | 56.65 | 42.50 |
| 5 | 4.00 | 30.88 | 56.67 |
| 6 | 5.00 | 21.4 | 70.83 |
| 7 | 6.00 | 0 | 85.00 |

Prueba a 100 km/h con frenos hiperventilados, Fuente: Autores

4.2.2 Prueba de ruta para medición de temperaturas

La prueba de ruta para la medir la temperatura tanto en los discos delanteros de fábrica como los frenos de tambor de fábrica, se realizó a 90 km/h de bajada por una pendiente en cuarta marcha, cabe recalcar que las mediciones de temperatura se hicieron antes de realizar la prueba y después de realizar la prueba.

Las temperaturas medidas son:

Tabla 4.11. Temperaturas sistema de frenos de fábrica

| Prueba a 90 km/h | | | | |
|------------------|---------------------------|-------------------------|--------------------------|------------------------|
| Temperaturas | Disco delantero izquierdo | Disco delantero derecho | Tambor trasero izquierdo | Tambor trasero derecho |
| Inicial (Ti) | 43.2°C | 42.6°C | 30.6°C | 27.5°C |
| Final (Tf) | 80.2°C | 80.1°C | 57.8°C | 40.3°C |

Temperaturas iniciales y finales en los frenos de fábrica, Fuente: Autores

Para el sistema de frenos de disco hiperventilados se utiliza los mismos parámetros que en el sistema de frenos de fábrica.

Las temperaturas medidas en el nuevo sistema son:

Tabla 4.12 Temperaturas sistema de frenos adaptado

| Prueba a 90 km/h | | | | |
|------------------|--|---------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------|
| Temperaturas | Disco delantero izquierdo hiperventilado | Disco delantero derecho sin mecanizar | Disco trasero izquierdo sin mecanizar | Disco trasero derecho sin mecanizar |
| Inicial (Ti) | 27.9°C | 28.8°C | 21.3°C | 27.3°C |
| Final (Tf) | 64.4°C | 74.7°C | 49.0°C | 56.9°C |

Temperaturas iniciales y finales en los frenos de disco hiperventilados, Fuente:

Autores

La prueba de ruta se realizó con los discos de freno hiperventilado en el lado del piloto, mientras que en el lado del copiloto los discos de freno no se encontraban mecanizados con la finalidad de obtener las diferencias de temperatura en una sola simulación con los mismos puntos de accionamiento de freno y velocidades

CAPÍTULO 5

5 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

5.1 Bomba de freno

La bomba de freno debe ser suficientemente capaz de distribuir el líquido de frenos a una velocidad y presión ideal para que el sistema de frenos funcione correctamente. Para la selección de bomba se tiene que los datos más importantes encontrados son los siguientes:

Tabla 5.1 Bomba de Frenos

| Bomba de frenos | |
|--|--------|
| Diámetro de la bomba | 13/16" |
| Fuerza de la bomba | 1190 N |
| Presión en el circuito | 49 bar |
| Fuerza de frenado en el eje delantero | 3328 N |
| Fuerza de frenado en el eje trasero | 3008 N |

Cálculo de Bomba de frenos ideal para el nuevo sistema, Fuente: Autores

Así, mediante los cálculos se determinó que la bomba nueva debe tener un diámetro de 13/16", es decir que la bomba original del vehículo puede abastecer al nuevo sistema pero se recomienda que sea de carrera corta ya que como menciona el principio de pascal a menor diámetro se tiene mayor presión y a menor distancia la velocidad con la que circula un fluido aumenta.

Este vehículo cuenta con dos tipos de bomba, una de carrera larga y otra de carrera corta, entonces por lo antes mencionado se eligió la bomba 13/16" de carrera corta para que el fluido llegue a mayor velocidad a los calipers del sistema de frenos de disco hiperventilados adaptados.

5.2 Análisis de pruebas de funcionamiento

5.2.1 Prueba en el frenómetro

Con el Sistema de frenos de fábrica, se puede observar en la tabla 4.2 el resultado de las pruebas en el frenómetro teniendo como resultado una eficacia de frenado total del 66%. La eficacia de frenado en el eje delantero es de 65% y en el eje trasero es de 68% (Véase Pág.8 de Anexos), además sus fuerzas de frenado son menores que las del nuevo sistema.

Se logró comprobar que con el nuevo sistema (véase la tabla 4.4) la eficacia de frenado total es de 73%; la eficacia de frenado en el eje delantero es de 88% y en el eje trasero es de 56% (Véase Pág. 9 de Anexos), es decir que se mejoró un 7% la eficacia de frenado total del vehículo, con ello se asegura que el nuevo sistema brinda más seguridad a los ocupantes del vehículo en cuanto a eficacia de frenado se refiere.



Por otro lado, se tiene que el porcentaje de desequilibrio con el sistema de frenos de disco hiperventilados adaptados en el eje delantero es del 0%, esto es muy inusual de ver en vehículos así sea nuevos. Este porcentaje de desequilibrio quiere decir que las presiones de frenado se están ejerciendo de igual forma tanto en el lado derecho y en el lado izquierdo en el eje delantero.

Para el eje trasero, el porcentaje de desequilibrio es de 20%, esto de acuerdo con las tablas de la revisión técnica vehicular (Véase pág. 10 de anexos) la cual la facilitó la empresa Rapi-frenos, indica que este porcentaje está calificado como tipo 1 y aun se considera aceptable para su óptimo funcionamiento.

5.2.2 Prueba de ruta para medir el desplazamiento de frenado

En los gráficos que se muestran a continuación, los colores que se utiliza muestran lo siguiente:

Tabla 5.2 Colores utilizados en gráficos

| Color | Sistema de frenos |
|---|------------------------------|
|  | Sistema de frenos de fábrica |
|  | Sistema de frenos adaptado |

Significado de colores en los gráficos en las diferentes pruebas realizadas, Fuente: Autores

Figura 5.1 Distancia de frenado



Distancia de frenado a 60 km/h, 80 km/h y 100 km/h, Fuente: Autores

En la figura 5.1 se presentan las distancias de frenado de las 3 pruebas realizadas tanto con el sistema de frenos de fábrica como con el sistema de frenos de discos hiperventilados adaptados.

En la prueba realizada a 60 km/h, se puede observar que a los 8 metros la velocidad del sistema de frenos hiperventilados es menor que la del sistema de frenos de fábrica, teniendo como resultado que al momento de llegar a los 43 metros el nuevo sistema detiene el vehículo por completo mientras que con el sistema de frenos de fábrica a esta misma distancia el vehículo aún se encontraba en movimiento aproximadamente a 17 km/h, por tal motivo el sistema de frenos convencional frena 16 metros después. Entonces, con el nuevo sistema a 60 km/h la distancia de frenado se reduce un 16%.

En la prueba a 80 km/h, se observa que a partir de los 23 metros de distancia las velocidades con el nuevo sistema se mantienen por debajo del sistema de frenos de fábrica, siendo así que a los 57 metros el nuevo sistema detiene el vehículo por completo, mientras que a esta misma distancia con el sistema de frenos de fábrica el vehículo se encontraba aproximadamente a 20 km/h, por tal motivo el vehículo se desplaza 19 metros más hasta

poderlo detener por completo. Entonces, el nuevo sistema de frenos a 80 km/h ha reducido un 25% la distancia de frenado.

En la prueba a 100 km/h, la distancia de frenado se la reduce considerablemente con el nuevo sistema de frenos, siendo así que a partir de los 33 metros la velocidad a la que va el vehículo con el sistema de frenos adaptados empieza a ser menor con respecto al sistema de frenos de fábrica, tanto así que a los 66 metros de distancia se tiene una velocidad aproximada de 21 km/h y para detener el vehículo por completo, este se desplaza 19 metros más. En este mismo punto el vehículo con el sistema de frenos de fábrica se encuentra a 28 km/h aproximadamente, por este motivo el vehículo se desplaza 33 metros hasta detenerse por completo.

En esta prueba a 100 km/h se observa claramente reducida la distancia de frenado, tanto así que se redujo esta distancia en un 28%.

En las tres pruebas, las distancias de frenado con el sistema de discos hiperventilados son menores con respecto al sistema de frenos de fábrica, teniendo como resultado que con esta adaptación se consigue reducir aproximadamente un 27% las distancias de frenado.

Figura 5.2 Distancia de frenado en relación con el tiempo



Distancia de frenado en relación con el tiempo a 60 km/h, 80 km/h y 100 km/h,
Fuente: Autores

Como se observa en la figura 5.2, a 60 km/h con el sistema de frenos de fábrica el vehículo se desplaza un total de 59 metros en 7 segundos hasta detenerse por completo. Con el sistema de frenos de disco hiperventilados se tiene que a la misma velocidad se desplaza 43 metros en 5 segundos hasta detener el vehículo por completo, es decir que se detiene 2 segundos nuevo y también se redujo 19 metros la distancia, siendo así que se reduce un 29% la distancia de frenado y un 25% el tiempo en que se detiene por completo el vehículo. Antes con el nuevo sistema. Entonces, con esta adaptación a 60km/h no solo se reduce el tiempo de frenado, sino que también se está reduciendo 16 metros en la distancia de frenado.

A 80 km/h, al igual que en la anterior prueba el vehículo se detiene a los 7 segundos, pero a una distancia de 76 metros, con el nuevo sistema el vehículo se detiene en los 5 segundos a una distancia de 57 metros. Es decir, se redujo 2 segundos el tiempo de frenado con el sistema de frenos nuevo.

A 100 km/h, se observa que el tiempo que le toma detenerse al vehículo con el sistema de frenos de fábrica es de 9 segundos, en este lapso el vehículo llega a desplazarse 118 metros hasta parar por completo. Al nuevo sistema de frenos le toma 6 segundos poder detener el vehículo y la distancia que recorre el vehículo hasta detenerse es de 85 metros. Con el nuevo sistema se redujo un 27% la distancia de frenado y un 33% el tiempo de frenado.

Figura 5.3 Tiempo de frenado



Tiempo de frenado a 60 km/h, 80 km/h y 100 km/h, Fuente: Autores

En la figura 5.3 se observa que a 60 km/h, con el sistema de frenos de disco hiperventilados al vehículo le toma 5 segundos poder detenerse por completo, mientras que transcurrido este tiempo el sistema de frenos de fábrica se encuentra a 17 km/h, le toma 2 segundos más a este sistema poder reducir la velocidad a 0 km/h y parar el vehículo.

A 80 km/h se puede observar que, hasta los 2 segundos la disminución de velocidad en ambos sistemas es casi igual, teniendo en este mismo segundo que la velocidad con ambos sistemas es de 58 km/h. A partir de aquí el nuevo sistema tarda 3 segundos más para detener el vehículo, es decir que el vehículo se detiene a los 5 segundos; con el sistema de frenos de fábrica al vehículo le toma 7 segundos poder reducir la velocidad por completo. Cabe mencionar al momento de llegar a los 5 segundos con el sistema de fábrica aún se tiene una velocidad de 21 km/h, mientras que con el nuevo sistema el vehículo ya se encuentra detenido.

A 100 km/h se puede observar que, con ambos sistemas al momento de llegar a los 2 segundos, el sistema de frenos adaptado reduce la velocidad más pronto que el sistema de frenos de fábrica, teniendo así que al nuevo sistema de frenos le toma 4 segundos más poder reducir los 78 km/h con los que se desplaza el vehículo; mientras que al sistema de frenos de fábrica le toma 9 segundos poder reducir esta velocidad y parar el vehículo. Con el sistema de frenos de disco hiperventilados adaptados se reduce un total de 3 segundos.

Para las tres pruebas, el sistema de discos de freno hiperventilados adaptados detiene el vehículo en menor tiempo que con el sistema de frenos de fábrica, a 60 km/h y 80 km/h se reduce un 22% el tiempo de frenado, y a 100 km/h se reduce aproximadamente un 33% del tiempo de frenado.

Con el análisis realizado en las figuras 5.1, 5.2 y 5.3, se determina que el sistema de discos de freno hiperventilados es más eficaz que el sistema de frenos de fábrica ya que el nuevo sistema reduce considerablemente el tiempo y distancia de frenado que el vehículo tenía con su sistema de frenos de fábrica.

5.2.3 Prueba de ruta para medición de temperaturas

En la prueba de carretera a 90 km/h bajando una pendiente en la última velocidad del vehículo se obtiene las temperaturas de trabajo, con el sistema de frenos de fábrica se observa

que la temperatura final media es de aproximadamente 80.1 °C en los discos delanteros, mientras que los tambores traseros tienen una temperatura final media es de aproximadamente 49.05 °C.

Con el nuevo sistema de frenado en el lado del piloto que cuenta con discos de freno hiperventilados, se reduce la temperatura inicial con respecto al sistema de fábrica; se tiene que la temperatura final media en los discos de freno hiperventilados es de 56.7°C mientras que la temperatura final media en los discos de freno sin mecanizar es de 65.8 °C, con esto se puede determinar que se redujo las temperaturas con los discos de freno hiperventilados, esto quiere decir que el disco mecanizado está disipando el calor de mejor manera que el sistema de frenos de fábrica y que los discos de freno sin mecanizar, ya que los ranurados, avellanados y perforados que se practicó en los discos de freno están permitiendo reducir la temperatura de mejor manera en comparación al sistema de frenos de fábrica y con respecto a los discos de freno sin mecanizar.

Con todo este análisis, se realiza una tabla comparativa de ambos sistemas:

Tabla 5.3 Datos de ensayos

| Característica | Sistema de frenos de fábrica | Sistema de frenos adaptado |
|---------------------------------------|------------------------------|----------------------------|
| Temperatura final media eje delantero | 80.1 °C | 69.55 °C |
| Temperatura final media eje trasero | 49.05 °C | 52.95 °C |

Comparativa de resultados del sistema de frenos de fábrica y el adaptado, Fuente: Autores

Como se observa en la tabla 5.3, el sistema de frenado de discos con el lado izquierdo ventilado y el lado derecho sin mecanizar, en el eje delantero se reduce 10.55°C la temperatura final media con respecto al sistema de fábrica.

Mientras que, en el eje trasero, la temperatura final media con el sistema nuevo sube 3.9°C con respecto al sistema de fábrica, esto sucede básicamente porque se está utilizando un disco de freno macizo el cual no disipa el calor, provocando que la temperatura final media en el eje trasera suba.

Las temperaturas se ven reducidas con la adaptación del nuevo sistema, en las pruebas de funcionamiento, estas temperaturas no superaron los 70 °C con el nuevo sistema, teniendo las mismas condiciones en la prueba de funcionamiento, esto quiere decir que el calor se está disipando de mejor manera en los discos de freno hiperventilados.

CONCLUSIONES

- Para validar el diseño de los adaptadores de sujeción mediante el programa CAD Inventor, se realiza una simulación de momento de torsión que la pieza diseñada resiste los esfuerzos a los que se encuentra sometida en el eje trasero sin pandearse ni fisurarse, lo cual indicó que son aptos para su mecanización y utilización en el vehículo Chevrolet San Remo SL (Chevette año 86).
- Con las pruebas realizadas a 60, 80 y 100 km/h respectivamente, se demostró que la adaptación de discos de freno hiperventilados reduce las distancias de frenado notablemente a partir de los 2 segundos, esta mejora es de alrededor de un 27% para reducir las distancias de frenado con respecto al sistema de frenos de fábrica, esto debido a que en el eje delantero y posterior se aumentó las dimensiones de los discos, además se evidencia que al momento de una posible emergencia, el vehículo podrá frenar a menor distancia.
- Se comprobó con el pirómetro que con los discos de freno hiperventilados en el lado del piloto, el calor se disipa de mejor manera que el sistema de frenos de fábrica, teniendo una diferencia de 10°C con respecto a los discos de freno sin mecanizar del nuevo sistema, esto muestra que las perforaciones en los discos están distribuidas de manera correcta; y las ranuras mecanizadas permitieron limpiar las pastillas de freno y eliminar los gases que se producen en altas temperaturas.
- En el frenómetro se determinó que la eficiencia de frenado total del sistema aumento en 7% con el sistema de discos de freno hiperventilados, y la eficacia de frenado en el eje delantero aumentó de 65% a 88%; con ello se cumple el objetivo del presente proyecto y aún más con esta mejora de eficacia se puede decir que la seguridad del conductor y ocupantes al momento de accionar el freno es más certera.

RECOMENDACIONES

- Para realizar las pruebas de frenado en carretera, se recomienda que se las realice en un horario donde no transiten muchos vehículos, esto con la finalidad de no entorpecer el tráfico ni causar accidentes de tránsito, en este caso las pruebas fueron realizadas en la noche
- Al momento de calcular el centro de gravedad, se recomienda pesar el vehículo en un frenómetro, en caso de no contar con esto, se lo puede realizar de igual manera en balanzas industriales de forma individual en cada rueda, además no olvidar elevar el eje trasero del vehículo de 15 a 30 cm del suelo para realizar el cálculo de diferencia de pesos y encontrar el centro de gravedad del vehículo
- En el proceso de mecanizado de las piezas, es recomendable tomar en cuenta las velocidades de la máquina, su avance y la profundidad de desbaste. Todo esto depende del tipo de material a mecanizar.
- Si se desea comprobar de mejor manera la disipación de calor en los discos de freno hiperventilados, utilizar una cámara termográfica con la finalidad de observar los comportamientos térmicos que ocurren desde que se acciona el pedal en el mecanismo adaptado.
- Utilizar piezas automotrices en buen estado o de preferencia que estas sean nuevas con el objetivo de que el mecanismo funcione sin inconvenientes al momento de accionar el sistema de frenos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- Aceromafe. (10 de Junio de 2021). *ACERO 1018: USOS, PROPIEDADES Y PRESENTACIONES*. Obtenido de Aceromafe: <https://www.aceromafe.com/acero-1018-propiedades/#:~:text=1018%20acero%20es%20una%20tipolog%C3%ADa,en%20a%20dureza%20del%20material>.
- Alonso Perez, J. M. (2007). *Tecnicas del automovil chasis*. Mexico D. F.: Thomson.
- Alonso, J. M. (2014). *Sistemas de transmision y Frenado*. Mexico D.F.: Ediciones Paraninfo.
- ATE. (2017). *Brake Parts Program*. Cinisello Balsamo: ATE.
- Carpio Cueva, D. E. (2018). *Diseño y construcción del sistema de frenos de un vehículo de competencia formula SAE eléctrico*. Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana.
- Cengel, Y., & Cimbala, J. (2006). *Mecanica de Fluidos. Fundamentos y Aplicaciones*. Mexico D. F.: McGraw-Hill/Interamericana Editores.
- Central de Repuestos TR. (2018). *Discos de Freno y sus tipos*. Obtenido de Central de Repuestos TR: <http://centralderepuestostr.com/discos-freno/>
- dtmaq. (19 de Noviembre de 2020). *Pantógrafo CNC*. Obtenido de dtmaq: <https://www.dtmaq.com.ar/que-es-un-pantografo-cnc--news--1-1004#:~:text=El%20pant%C3%B3grafo%20de%20dibujo%20es,varillas%20de%20madera%20o%20metal.%20%E2%80%A6>
- Ellis, J. R. (1994). *Dinámica del Automovil*. London: Mechanical Engineering Publications.
- Equipo Ferros Planes. (8 de Junio de 2018). *Laminado en frío y en caliente: diferencias y ventajas*. Obtenido de Planes: <https://ferrosplanes.com/laminado-en-frio-en-caliente-ventajas/>
- García, C. (16 de Febrero de 2015). *Chasis*. Obtenido de Zona Gravedad: <https://www.zonagravedad.com/modules.php?name=News&file=article&sid=750>
- Gavilima Cortez, J. A., & López Rivera, J. A. (2013). *Diseñar e implementar un prototipo de vehículo híbrido con modificación de la carrocería para alojar el sistema de propulsión posterior, análisis de los sistemas de suspensión dirección e implementación de frenos de disco en las cuatro ruedas*. Ibarra: Universidad Técnica del Norte.
- Guerra, J. A. (2021). *Manual Técnico del sistema de frenado RH*. Bogotá.
- Méndez, E. (Julio de 2018). *Sistemas de frenos*. Obtenido de SlidePlayer: <https://slideplayer.es/slide/12116515/>
- Organización Internacional de Estandarización. (2008). Vehículos de carretera. Ensayo de los sistemas de frenado de vehículos con una masa total máxima autorizada superior a 3,5 t mediante un frenómetro de rodilloa. *ISO*, 1-24.
- Philip, G., & Hochstein, J. (2018). *Fundamentos de mecánica de fluidos*. Wiley Loose.
- Plaza, D. (16 de Julio de 2020). *Qué es el servofreno y cómo funciona*. Obtenido de Motor.es: <https://www.motor.es/que-es/servofreno>
- Rodríguez, H. (20 de Junio de 2022). *ingemecánica*. Obtenido de ingemecánica: <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn74.html>

- Ruiz, J. (29 de Diciembre de 2017). *¿Para qué sirve el servofreno?* Obtenido de NITRO.PE: <https://www.nitro.pe/mecanico-nitro/para-que-sirve-el-servofreno.html>
- STAYER. (s.f.). *¿PARA QUÉ SIRVEN LOS DISCOS DE WIDIA?* Obtenido de STAYER: <https://www.stayer.es/conocimiento/pregunta/para-que-sirven-los-discos-de-widia/#:~:text=Un%20disco%20de%20Widia%20es,variable%2C%20como%20aluminio%20o%20metales.>
- Velasquez, J., & 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*. Cuenca: UPS.
- Wikipedia. (28 de Julio de 2022). *Principio de Pascal*. Obtenido de Wikipedia: https://es.wikipedia.org/wiki/Principio_de_Pascal