



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

“ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO TÉRMICO MEDIANTE UN SENSOR INFRARROJO EN UN SISTEMA DE FRENOS HIPERVENTILADOS CON LA IMPLEMENTACIÓN DE DIFERENTES PASTILLAS DE FRENO”

Trabajo de integración curricular

Tipo: Proyecto de investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

AUTOR:

CARLOS MIGUEL PUENTE CAMACHO

Riobamba – Ecuador

2021



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**“ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO TÉRMICO MEDIANTE UN
SENSOR INFRARROJO EN UN SISTEMA DE FRENOS
HIPERVENTILADOS CON LA IMPLEMENTACIÓN DE
DIFERENTES PASTILLAS DE FRENO”**

Trabajo de integración curricular

Tipo: Proyecto de investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

AUTOR: CARLOS MIGUEL PUENTE CAMACHO

DIRECTOR: ING. JOSÉ JAVIER GAVILANES CARRIÓN

Riobamba – Ecuador

2021


© 2021, Carlos Miguel Puente Camacho

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

Yo, Carlos Miguel Puente Camacho, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 26 de Noviembre de 2021



Carlos Miguel Puente Camacho

C.I: 025001342-2

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Proyecto de Investigación, **ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO TÉRMICO MEDIANTE UN SENSOR INFRARROJO EN UN SISTEMA DE FRENOS HIPERVENTILADOS CON LA IMPLEMENTACIÓN DE DIFERENTES PASTILLAS DE FRENO**, realizado por el señor: **CARLOS MIGUEL PUENTE CAMACHO**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal autoriza su presentación.

FIRMA

FECHA

Ing. Juan Carlos Castelo Valdivieso
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL



Firmado electrónicamente por:
**JUAN CARLOS
CASTELO
VALDIVIESO**

2021-11-26

Ing. José Javier Gavilanes Carrión
**DIRECTOR DEL TRABAJO DE
INTEGRACIÓN CURRICULAR**

**JAVIER JOSE
GAVILANES
CARRION**

Firmado
digitalmente por
JAVIER JOSE
GAVILANES CARRION
Fecha: 2022.01.28
09:09:57 -05'00'

2021-11-26

Ing. Johnny Marcelo Pancha Ramos
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

**JOHNNY
MARCELO
PANCH
RAMOS**

Firmado
digitalmente por
JOHNNY
MARCELO
PANCH RAMOS

2021-11-26

DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedico primeramente al padre celestial que ha guiado en este arduo camino, por la sabiduría y la salud que me ha brindado para poder culminar esta meta. A mis Padres Luis y Martha, así como a mis hermanos Luis y Danny, por haberme proporcionado una vida llena de aprendizajes, valores y muchos deseos de superación a pesar de los momentos difíciles.

A ellos les doy gracias por no dejar de apoyarme en todo momento a pesar de las dificultades que se presentaron en el transcurso del tiempo, también de manera especial a mis padres por haberme brindado la mejor educación en el transcurso de mis años de vida y sobre todo por ser el ejemplo de superación.

Carlos

AGRADECIMIENTO

Mi más sincero agradecimiento a todos los docentes de la Escuela de Ingeniería Automotriz que me han impartido sus conocimientos que han sido muy útiles para el ámbito laboral, así como los consejos y buenos momentos de enseñanza compartidos en el transcurso de la carrera, gracias a ellos he logrado cumplir mi objetivo que es ser un Ingeniero Automotriz con ética y calidad.

Agradezco a todas las personas que me han brindado su apoyo para seguir adelante en todo momento y no desistir, en especial a mis Padres y Hermanos por su confianza, esfuerzo y motivación día tras día. A mi tutor y asesor por impartirme su experiencia, conocimientos, para culminar exitosamente esta etapa.

Carlos

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS	iv
ÍNDICE DE FIGURAS	v
ÍNDICE DE ANEXOS	vii
RESUMEN	viii
SUMMARY	ix
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL	2
1.1. Antecedentes	2
1.2. Problemática	2
1.3. Justificación	3
1.4. Objetivos	4
<i>1.4.1. Objetivo general</i>	<i>4</i>
<i>1.4.2. Objetivos específicos</i>	<i>4</i>
1.5. Hipótesis	4
1.6. Alcances.....	4
1.7. Sistema de frenado	5
1.8. Disco y pastillas de freno.....	5
<i>1.8.1. Disco de freno</i>	<i>6</i>
<i>1.8.1.1. Disco macizo</i>	<i>6</i>
<i>1.8.1.2. Disco ventilado.....</i>	<i>6</i>
<i>1.8.1.3. Disco hiperventilado</i>	<i>6</i>
<i>1.8.2. Pastillas de freno</i>	<i>7</i>
<i>1.8.2.1. Orgánicas.....</i>	<i>7</i>
<i>1.8.2.2. Semimetálicas o Metálicas</i>	<i>7</i>
<i>1.8.2.3. Cerámicas</i>	<i>7</i>
1.9. Comportamiento térmico del disco de freno	8
1.10. Comportamiento térmico de las pastillas de freno.....	13
1.11. Adquisición de datos.....	17

CAPITULO II

2. MARCO METODOLÓGICO	20
2.1. Diseño metodológico.....	20
<i>2.1.1. Tipo de investigación</i>	<i>20</i>

2.2. Operación de variables	20
2.2.1. <i>Variables independientes</i>	20
2.2.2. <i>Variable dependiente</i>	20
2.3. Procedimiento	20
2.3.1. <i>Diseño y comprobación del sistema para la adquisición de datos</i>	21
2.3.1.1. <i>Diseño del circuito electrónico</i>	21
2.3.1.2. <i>Construcción del módulo de adquisición de datos</i>	22
2.3.2. <i>Implementación en el vehículo</i>	23
2.3.2.1. <i>Posicionamiento del módulo en el tablero del vehículo</i>	23
2.3.2.2. <i>Instalación de los sensores infrarrojos</i>	23
2.3.2.3. <i>Pruebas de funcionamiento de los sensores</i>	24
2.3.3. <i>Pruebas en el sistema de freno hiperventilado</i>	25
2.3.3.1. <i>Reemplazo de discos de freno</i>	25
2.3.3.2. <i>Selección de pastillas de freno</i>	25
2.3.3.3. <i>Instalación de las pastillas de freno</i>	27
2.3.3.4. <i>Verificación del funcionamiento del sistema de freno hiperventilado</i>	28
2.3.4. <i>Adquisición de datos del comportamiento térmico del sistema de freno</i>	29
2.3.4.1. <i>Distancia de frenado con las pastillas de freno seleccionadas</i>	29
2.3.5. <i>Análisis de variables</i>	30
2.3.5.1. <i>Análisis de datos</i>	30

CAPITULO III

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	32
3.1. Resultados del comportamiento térmico	32
3.1.1. <i>Sistema de freno ventilado</i>	32
3.1.2. <i>Sistema de freno hiperventilado</i>	37
3.2. Resultados de las distancias de frenado	43
3.2.1. <i>Sistema de freno ventilado</i>	43
3.2.2. <i>Sistema de freno hiperventilado</i>	46
3.3. Discusión de resultados	49
3.3.1. <i>Comportamiento térmico</i>	49
3.3.1.1. <i>Comportamiento térmico del sistema de freno ventilado</i>	49
3.3.1.2. <i>Comportamiento térmico del sistema de freno hiperventilado</i>	51
3.3.1.3. <i>Comparativa entre los sistemas de freno</i>	54
3.3.2. <i>Distancia de frenado</i>	55
3.3.2.1. <i>Distancia de frenado comparando cada caso</i>	55

3.3.2.2. <i>Comparativa de la distancia de freno entre los sistemas de frenado</i>	56
3.4. Discusión de los resultados	57
CONCLUSIONES	58
RECOMENDACIONES	60
BIBLIOGRAFÍA	
ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1: Enfriamiento de Newton en base al tiempo.....	10
Tabla 1-2: Características según el fabricante.	26
Tabla 2-2: Características según el fabricante.	27
Tabla 3-2: Designación de factores y niveles para su estudio.	30
Tabla 4-2: Tratamiento para el análisis de datos.	31
Tabla 1-3: Datos térmicos del sistema A1.....	50
Tabla 2-3: Datos térmicos del sistema A2.....	51
Tabla 3-3: Tratamiento de datos de los casos realizados.	53
Tabla 4-3: Tratamiento de casos generales.....	54
Tabla 5-3: Tratamiento de casos de distancia de frenado.	55
Tabla 6-3: Tratamiento de casos generales.....	56

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1: Sistema de freno.....	5
Figura 2-1: Discos de freno.....	6
Figura 3-1: Pastillas de freno.	7
Figura 4-1: Comportamiento térmico en intervalos de tiempo.....	9
Figura 5-1: Diferencia de temperaturas entre los discos de frenos.	11
Figura 6-1: Distribución térmica del disco después de la simulación.....	12
Figura 7-1: Comportamiento térmico de secciones cilíndricas de discos de freno: ventilado, perforado y núcleo red x.....	13
Figura 8-1: Comportamiento térmico de las pastillas al finalizar	14
Figura 9-1: Distribución de la temperatura en la superficie	14
Figura 10-1: Simulación del comportamiento térmico disco-pastilla de freno.....	15
Figura 11-1: Concentración térmica en las superficies	16
Figura 12-1: Análisis de la temperatura mediante TG en pastilla de freno cerámica comercial y desarrollada.....	16
Figura 13-1: Banco de pruebas para análisis térmico.....	17
Figura 14-1: Ubicación del termopar en el disco de freno.	18
Figura 15-1: Banco dinamométrico de pruebas para frenos.....	18
Figura 16-1: Instalación del prototipo en el vehículo.....	19
Figura 1-2: Parámetros para el desarrollo del estudio.....	21
Figura 2-2: Módulo de adquisición de datos en Solidworks.....	22
Figura 3-2: Distribución de los elementos electrónicos.....	22
Figura 4-2: Instalación del módulo en el tablero del vehículo.....	23
Figura 5-2: Ubicación final de los sensores infrarrojos.....	24
Figura 6-2: Comprobación del funcionamiento	24
Figura 7-2: Cambio de discos de freno.....	25
Figura 8-2: Pastillas de freno Professor Premium Brakes.....	26
Figura 9-2: Pastillas de freno Brake Pak.....	26
Figura 10-2: Embarque y desmontaje del neumático.....	27
Figura 11-2: Desmontaje de la mordaza de freno.....	28
Figura 12-2: Instalación de las pastillas de freno.....	28
Figura 13-2: Pista de pruebas.....	29
Figura 14-2: Automóvil de prueba.....	30

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-3: Comportamiento térmico PPB-1 en A1.	32
Gráfico 2-3: Comportamiento térmico PPB-2 en A1.	33
Gráfico 3-3: Comportamiento térmico PPB-3 en A1.	34
Gráfico 4-3: Comportamiento térmico PB-1 en A1.....	35
Gráfico 5-3: Comportamiento térmico PB-2 en A1.....	36
Gráfico 6-3: Comportamiento térmico PB-3 en A1.....	37
Gráfico 7-3: Comportamiento térmico PPB-1 en A2.	38
Gráfico 8-3: Comportamiento térmico PPB-2 en A2.	39
Gráfico 9-3: Comportamiento térmico PPB-3 en A2.	40
Gráfico 10-3: Comportamiento térmico BP-1 en A2.....	41
Gráfico 11-3: Comportamiento térmico BP-2 en A2.....	42
Gráfico 12-3: Comportamiento térmico BP-3 en A2.....	43
Gráfico 13-3: Distancias de frenado con PPB-1 en A1.	44
Gráfico 14-3: Distancias de frenado con PPB-2 en A1.	44
Gráfico 15-3: Distancias de frenado con PPB-3 en A1.	45
Gráfico 16-3: Distancias de frenado con BP-1 en A1.....	45
Gráfico 17-3: Distancias de frenado con BP-2 en A1.....	46
Gráfico 18-3: Distancias de frenado con BP-3 en A1.....	46
Gráfico 19-3: Distancias de frenado con PPB-1 en A2.	47
Gráfico 20-3: Distancias de frenado con PPB-2 en A2.	47
Gráfico 21-3: Distancias de frenado con PPB-2 en A2.	48
Gráfico 22-3: Distancias de frenado con BP-1 en A2.....	48
Gráfico 23-3: Distancias de frenado con BP-2 en A2.....	49
Gráfico 24-3: Distancias de frenado con BP-3 en A2.....	49
Gráfico 25-3: Curvas del comportamiento térmico - A1.	51
Gráfico 26-3: Curvas del comportamiento térmico - A2.	52
Gráfico 27-3: Comparativa del comportamiento térmico de las pastillas de freno en los dos sistemas de frenado.	53
Gráfico 28-3: Comparativa general del comportamiento térmico entre los sistemas de freno y las pastillas de freno.	54
Gráfico 29-3: Distancia de frenado resultado del tratamiento de los casos.	55
Gráfico 30-3: Intervalos de frenado de las pastillas de freno PPB Y BP en A1 y A2.....	56

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: Código de programación en Arduino para sensores infrarrojos.

ANEXO B: Datos del comportamiento térmico en el sistema de freno ventilado.

ANEXO C: Datos del comportamiento térmico en el sistema de freno hiperventilado.

ANEXO D: Datos de distancia de frenado en el sistema de freno ventilado.

ANEXO E: Datos de distancia de frenado en el sistema de freno hiperventilado.

RESUMEN

El presente proyecto de investigación se realizó con el objetivo de estudiar el comportamiento térmico que generó el sistema de freno de discos hiperventilados en el eje delantero del vehículo de prueba, en el que se implementó sensores infrarrojos y diversos tipos de pastillas de freno, de ese modo se comprobó el comportamiento del sistema de freno. El trabajo se desarrolló a partir de una investigación bibliográfica en la que se efectuó un análisis teórico de investigaciones previamente ejecutadas, con lo que se elaboró una referencia base para la investigación. Se implementó un sistema de monitoreo mediante algunos componentes electrónicos, sensores infrarrojos y softwares con lo que se obtuvo el comportamiento térmico del sistema de freno mediante pruebas experimentales realizadas, también se adquirió los datos con las diferentes pastillas de freno con lo que se efectuó un análisis estadístico mediante el uso del software Statgraphics y se consiguió datos más certeros de los dos sistemas de freno con los que se trabajó, demostrando así cual logró un mejor comportamiento con las pastillas de freno. Se concluyó que el sistema de freno hiperventilado se comportó de manera eficaz con pastillas de freno de costo accesible y demostró mejor desempeño en el comportamiento térmico como en distancias de frenado, los cuales se comparó con los datos base obtenidos con el sistema de freno ventilado. Por ello se recomienda utilizar el sistema de freno hiperventilado en conjunto con pastillas de freno adecuadas ya que ayuda a salvaguardar la vida de los ocupantes del vehículo, evitando así accidentes de tránsito por fallas del sistema.

Palabras clave: <TECNOLOGÍA Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA> <INGENIERÍA AUTOMOTRIZ> <SISTEMA DE FRENO> <COMPORTAMIENTO TÉRMICO> <FRENO HIPERVENTILADO> <PASTILLAS DE FRENO> <EQUIPO DE MONITOREO TÉRMICO>.



Firmado electrónicamente por:
**HOLGER GERMAN
RAMOS UVIDIA**

0028-DBRA-UPT-2022

2022-01-06

SUMMARY

This research project aimed to study the thermal behavior generated by the hyperventilated disc brake system, on the front axle of the vehicle test, through the implementation of infrared sensors and several types of brake pads. It was verified the behavior of the brake system In this way. The work was developed from bibliographical research in which a theoretical analysis of research was carried out previously executed. For this purpose, a base reference for the investigation was elaborated. A monitoring system was implemented using some electronic components, sensors infrared, and software with which the thermal behavior of the brake system was obtained through experimental tests carried out. Data was also acquired with the different brake pads which statistical analysis was carried out using the software Statgraphics. So more accurate data was obtained from the two brake systems. It was concluded that hyperventilated brake system behaved effectively with brake pads of accessible costs and showed better performance in thermal behavior as in distances of braking. It was compared with the base data obtained with the ventilated brake system. For this reason, it is recommended to use the hyperventilated brake system in conjunction with brake pads. Adequate brake helps to safeguard the life of the occupants of the vehicle, thus avoiding traffic accidents due to system failures.

Keywords: <TECHNOLOGY AND ENGINEERING SCIENCE> <ENGINEERING AUTOMOTIVE> <BRAKE SYSTEM> <THERMAL BEHAVIOR> <BRAKE HYPERVENTILATED> <BRAKE PADS> <THERMAL MONITORING EQUIPMENT>.



Firmado electrónicamente por:
**PATRICIA
PILAR MOYOTA
AMAGUAYA**

INTRODUCCIÓN

El sistema de freno constituye como el más importante sistema de seguridad en el vehículo, aunque actualmente se habla mucho de este sistema, debido a los accidentes de tránsito que se producen por falla mecánica o por demasía de uso llevando a un incremento excesivo de temperatura, lo que provoca la pérdida de efectividad del mismo al conducir, pero aquello también se asocia mucho con la mala elección de pastillas de freno y la falta de conocimiento referente a sistemas de frenos alternativos (hiperventilados), lo que lleva a muchos conductores a tener problemas con este sistema sustancial del automotor.

A su vez el sistema de freno es elemental al conducir. En virtud de ello, los fabricantes dedican mucho tiempo al diseño y desarrollo de los sistemas de frenado los cuales han ido cambiando a través de los años obteniendo distintas configuraciones de sistemas de frenado, por ello es que actualmente se está empezando a implementar sistemas de freno hiperventilado debido a que es fundamental que el sistema de freno sea lo más eficaz posible al momento de realizar su trabajo.

Se puede encontrar muchos análisis que se han realizado a partir de diseños y simulaciones en bancos de pruebas que no muestran en sí, el comportamiento térmico real del sistema de freno. De esta manera se crea la necesidad de realizar pruebas reales, con la finalidad de determinar el comportamiento térmico y cómo se comporta el sistema ante pruebas de distancias de frenado.

Mediante el uso de sensores infrarrojos en conjunto con un módulo electrónico, se pueden obtener datos del comportamiento térmico del sistema con las diferentes pastillas de freno, además las distancias de frenado servirán para apreciar la efectividad de los sistemas de freno puestos a prueba.

Debido a la geografía de nuestro país, el sistema de freno del vehículo puede comportarse de maneras distintas, ya que de ello dependerá el factor humano al momento de conducir y hacer uso de dicho sistema, provocando que el comportamiento térmico y el arrastre de frenado pueda variar en función de la técnica de conducción.

El argumento de este trabajo de investigación busca ser un instrumento de aporte investigativo para los estudiantes de las nuevas generaciones, debido a que brindará conocimientos relevantes y un alto grado de nivel académico para su aprendizaje.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

1.1. Antecedentes

El presente trabajo de investigación denominado como “Estudio del comportamiento térmico mediante un sensor infrarrojo en un sistema de frenos hiperventilados con la implementación de diferentes pastillas de freno”, es un estudio que se realiza mediante la implementación de un sistema electrónico de adquisición de datos del comportamiento térmico en el eje delantero de un automóvil, que esta implementado por discos hiperventilados y pastillas de freno de diferentes marcas que son muy utilizadas actualmente, por lo tanto obtener dichos datos del comportamiento térmico permitirá analizar cómo actúa cada tipo de pastilla de freno en los discos hiperventilados, para establecer criterios de aceptación y poder evidenciar el trabajo más eficaz de este sistema.

1.2. Problemática

A través del tiempo la dificultad para seleccionar el mejor tipo de pastilla para implementar en los sistemas de freno, ha sido realmente complicado puesto que existe muy poca información respecto a cuál es la selección más óptima y aunque en los últimos años se han realizado varias investigaciones tomando en cuenta la fricción, temperatura entre otras.

Un análisis térmico de las pastillas de frenos en este caso en particular con discos hiperventilados es de vital importancia ya que juega un papel importante en el desempeño de la misma y la falta de información desemboca en problemas al momento de producirse el frenado y, por lo tanto, no garantiza que el frenado sea seguro y eficaz poniendo así en riesgo la vida de las personas cuando conducen sus vehículos.

En las últimas décadas se han desarrollado pastillas de freno diferentes entre sí, presentando así múltiples características de fabricación que pueden aportar de manera distinta en sistemas de freno hiperventilados. El estudio del comportamiento de pastillas de freno en lo concerniente a lo térmico está enfocado en diferentes marcas y precios del mercado local, a su vez dicho comportamiento térmico se constatará mediante el uso de un sistema de monitoreo que está conformado por: software, tarjeta de adquisición de datos, sensores infrarrojos, este último se instalará lo más cercano a la zona de contacto de la pastilla de freno para que se puedan tomar datos térmicos más reales y de este modo demostrar cómo se comporta cada pastilla en las pruebas de distancia de frenado.

1.3. Justificación

El sistema de freno en un automóvil debe cumplir con un conjunto complejo de requisitos, siendo la seguridad el más importante. En el diseño de estos sistemas, influye directamente en una geometría correcta y una adecuada selección del material para su correcta operación (García-León, Acevedo Peñaloza y Rodríguez Castilla, 2019, p.376).

Según la Agencia Nacional de Tránsito (ANT) en los últimos cinco años los siniestros de categoría C5, hace referencia a las fallas mecánicas como defectos en el freno, que representa el 0,72 % del total de siniestros de tránsito en el territorio nacional (ANT, 2020). En cuanto al diseño de los discos de freno hiperventilados responde a su capacidad para liberar los gases y, paralelamente, minimizar el peso de la pieza, actúa como un monumental disipador de calor, por lo cual situar cierta proporción de orificios en el mismo se traduce en una más grande capacidad para disipar el calor (Amaya, 2018). Según la SENA los discos hiperventilados más importados al país contienen en su estructura entre un 92 y 93% de hierro y otros compuestos como silicio y magnesio (SENAE, 2020).

Las pastillas de freno son fundamentales dentro del sistema de frenado del coche debido a que dan la fricción elemental a los discos hiperventilados de freno de tal forma que una vez que accionamos el pedal, nuestro automotor se detiene (Antonyraj y Singaravelu, 2019, p.2650). Por lo tanto, al hablar de balatas o pastillas de freno las más adquiridas en el país se tiene gran variedad de costos y marcas que presentan diferentes características para el consumidor. En cuanto a las características los fabricantes detallan la calidad de fabricación y cualidades de dichos elementos de frenado, esto se diferencia entre marcas dado que desean posicionarse en cierta condición frente a los consumidores.

Ahora de acuerdo a su funcionamiento en la normativa SAE J866 instituye que las pastillas de freno se tienen que clasificar según su coeficiente de fricción y estudio térmico de desempeño, que se debería manifestar en la información de las pastillas de freno, donde la primera letra se refiere a la fricción en baja temperatura (93 – 204 °C), en lo que la segunda letra se designa el coeficiente de fricción a alta temperatura (232 – 343 °C), con coeficientes de fricción que están entre 0.15 μ hasta los 0.55 μ (SAE, 2019). Como ya se especificó en el párrafo anterior el análisis térmico es esencial en los sistemas de freno, ya que la mayoría de conductores adquiere pastillas de freno por marcas o costos y esto conlleva que a la larga presente algún tipo de problema, es por eso que la presente investigación se enfocará en el estudio del comportamiento térmico en el frenado incorporando sensores infrarrojos que permitan obtener el desempeño térmico de pastillas de freno de disímiles tipos en un sistema de disco hiperventilado, al ser sometido a diferentes pruebas las cuales permitirán profundizar el conocimiento teórico del sistema de freno y el trabajo que realiza en el automotor.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Comparar por medio de sensores infrarrojos el comportamiento térmico aplicando pruebas de distancia de frenado con un sistema de freno ventilado e hiperventilado con la implementación de diferentes pastillas de freno.

1.4.2. Objetivos específicos

- Examinar fuentes bibliográficas en libros y documentos científicos para obtener información de estudios realizados previamente.
- Implementar sensores infrarrojos en el sistema de freno del eje delantero de un vehículo, para el monitoreo del comportamiento térmico del sistema de freno.
- Obtener los datos del comportamiento de los diferentes pastillas de freno en función de las pruebas de distancia de frenado.
- Realizar la comparación de las curvas del comportamiento térmico de los sistemas de freno, con la implementación de las diferentes pastillas, bajo pruebas de distancia de frenado.

1.5. Hipótesis

En este análisis se pretende evaluar la conjetura de como las pastillas de freno de diferentes precios en un sistema de discos hiperventilados tienen la posibilidad de actuar bajo pruebas de frenado comparándolas entre sí, por medio de la conducta térmica de trabajo. Y de esta forma establecer cómo se comporta el sistema de freno hiperventilado frente al sistema de freno original del vehículo.

1.6. Alcances

Los resultados que se esperan alcanzar con el desarrollo del trabajo de titulación se mencionan a continuación:

- Comparativa del comportamiento de varias pastillas de frenos mediante el análisis térmico implementado en un sistema de frenos hiperventilados.
- Se implementaran pastillas de freno en función de marcas y sus costos, para posteriormente definir el comportamiento en un vehículo liviano, cuyo sistema de freno será modificado.
- Implementar un sistema de monitoreo de temperatura que va estar conformado por: software, tarjeta de adquisición de datos, sensores infrarrojos, cabe recalcar que los

sensores infrarrojos se instalarán lo más cercano a la superficie de contacto de la pastilla de freno para que se puedan tomar datos térmicos más reales.

- Realizar la adquisición de datos y curvas características con el sistema original del freno en el eje frontal para posteriormente llevar a cabo con el sistema hiperventilado.
- Para la obtención de datos se usó la metodología experimental y para su posterior análisis estadístico.
- Al obtener los datos se pretende dar con información acertada de las diferentes pastillas de freno y el comportamiento térmico que poseen en el sistema de freno ventilado como en el hiperventilado.

1.7. Sistema de frenado

Los vehículos a motor disponen de sistemas de freno adaptados al tipo de vehículo y al trabajo para el cual está diseñado. La función primordial del sistema de freno es transformar la energía cinética del vehículo en energía calorífica y disipar el calor generado en los elementos, efectuando así la desaceleración del automotor (Domínguez y Ferrer, 2012, p.229).

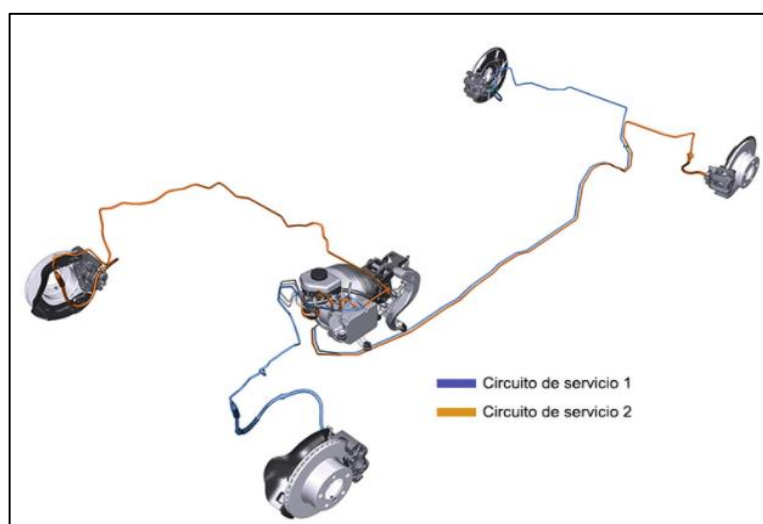


Figura 1-1: Sistema de freno.

Fuente: <http://kashima.campuseina.com/mod/book/view.php?id=7685>

1.8. Disco y pastillas de freno

Este mecanismo usa una piza de freno, 2 pastillas y un pistón; Una vez que el líquido de freno acciona el pistón, así el mecanismo empuja el disco de tal forma que ambas pastillas acceden en contacto con el disco para detener el vehículo. Al final, una vez que el conductor levanta el pie del freno, la inercia del disco regresa el sistema a su postura original (Rodríguez García y Nieto Sánchez, 2017, p.77).

1.8.1. Disco de freno

Estos componentes de fricción permiten la acción de frenado, son más usados actualmente por la mayoría de automotores. Suelen estar fabricados con acero aleado con cromo, ya que deben soportar elevadas temperaturas sin sufrir deformaciones (Borja, Fenoll y Seco, 2009, p.172).



Figura 2-1: Discos de freno.

Fuente: <http://kashima.campuseina.com/mod/book/view.php?id=7775>

En la actualidad hay una diversidad de discos de freno que se implementan en los vehículos de diferentes categorías, empero en el Ecuador los discos de freno más frecuentes que tienen la posibilidad de hallar son los próximos.

1.8.1.1. Disco macizo

Se caracteriza por estar formado por un anillo con un espesor considerable teniendo dos superficies de fricción opuestas, al ser macizo presenta características como: acumulación de calor, suciedad y provoca la cristalización de las pastillas. Este disco es comúnmente usado en el eje posterior porque dicho eje recibe un reparto menor de frenado (Domínguez y Ferrer, 2012, p.266).

1.8.1.2. Disco ventilado

En la manufactura de los discos de freno el material utilizado suele ser el acero al cromo o la fundición gris perlítica aleada con cromo que presenta una alta resistencia a las rayaduras y a la corrosión. además de una buena conductibilidad térmica y resistencia mecánica (Alonso Pérez, 2010, p.250). Son capaces de disipar el calor que se genera por la fricción con mayor rapidez, las ventilaciones son canales que se encuentran entre las caras del disco permitiendo que fluya el aire por su interior, reduciendo el calor producido en la frenada (Domínguez y Ferrer, 2012, p.266).

1.8.1.3. Disco hiperventilado

Esta variación de discos de freno se usa en vehículos deportivos o de alta gama, dichos discos de freno son conocidos además como ventilados perforados, tienen un mayor flujo de ventilación lo que mejora la capacidad de disipación de calor y aumenta la resistencia a las grietas causadas por

el choque térmico (Mezquita y Ruíz, 2004, p.738-739). Existen diferentes tipos de aleaciones para el diseño y elaboración de discos perforados de freno en la industria automotriz, ya que deben cumplir parámetros extremadamente altos, debido a que este elemento trabaja en altos grados de desgaste y temperatura (Martínez Gómez et al., 2018, p.84).

1.8.2. Pastillas de freno

Son un factor frenante en el sistema de freno de disco, debe disponer de cualidades específicas que le permitan soportar altas temperaturas y fricciones (Domínguez y Ferrer, 2012, p.269). Durante más de 80 años el amianto se ha utilizado como material de fricción debido a sus buenas propiedades físicas y químicas (Ibhadowe y Dagwa, 2008, p.167). Esto les proporcionaba rigidez y mejor disipación de la temperatura, sin embargo, este material al ser cancerígeno se ha dejado de utilizar (Borja, Fenoll y Seco, 2009, p.173).



Figura 3-1: Pastillas de freno.

Fuente: <https://www.pruebaderuta.com/cambiar-las-pastillas-de-freno-cuando-y-por-que.php>

1.8.2.1. Orgánicas

Estas pastillas de freno contienen en su composición entre 10 y 30% de metal, pero el remanente de material de rozamiento proviene de fibras derivadas de plantas, resinas de alta temperatura y otros materiales (Toma, 2016). También según los autores (Lucas et al., 2020, p.2) Debido a la prohibición del uso del amianto, comenzaron a llamarse en amianto orgánico (NAO), por lo tanto como partes fundamentales se tiene: resinas, materiales orgánicos e inorgánicos, grafito, mica, fibras metálicas (en bajo porcentaje) y aramida, responsables de la sustitución del amianto.

1.8.2.2. Semimetálicas o Metálicas

Se componen de un 30-65% de metal en peso (Melcher, 2020). También el autor (Charan, 2020, p.1-2) Se utilizan múltiples tipos de metal como el cobre, hierro y acero, pero el resto de la superficie de fricción está compuesta por rellenos, modificadores y otras sustancias necesarias que mejoran el rendimiento y fiabilidad, estas pastillas de freno son muy populares entre los fabricantes de automóviles y consumidores, se consideran el tipo de pastilla de freno más versátil de adquirir.

1.8.2.3. Cerámicas

Estas pastillas de freno son apreciadas por su larga vida útil, así como por su rendimiento estable y constante durante toda su vida operativa (Charan, 2020, p.1). Según el autor (Ales, 2020) Estas pastillas

de freno son silenciosas y duran más tiempo, se componen de materiales cerámicos mezclados con fibras de cobre u otro metal, son estables en una amplia gama de temperaturas, produciendo menor cantidad de polvo respecto a las anteriores. Mencionadas pastillas de freno no absorben bien el calor en circunstancias extremas de frenado provocando un aumento térmico excesivo y un bajo funcionamiento en el frío.

1.9. Comportamiento térmico del disco de freno

Un disco de freno debe tener una estabilidad térmica adecuada para poder funcionar con eficacia en cualquier forma y configuración, la estabilidad térmica depende de muchos aspectos como: propiedades térmicas del material, el tratamiento térmico previo al mecanizado y el diseño del rotor, algunas de las propiedades térmicas más importantes de un disco de freno son la capacidad térmica, conductividad térmica, disipación de calor y el coeficiente de expansión térmica (Naveed y Alfadhi, 2019, p.190).

La temperatura es un factor primordial para determinar el comportamiento del sistema de freno de discos ventilados en un automotor, según los autores (Zuo, Zhang y Kong, 2017, p85-88) en un estudio en el cuál realizan un análisis mediante un banco de trabajo en ANSYS para establecer una simulación para frenos de discos ventilados y determinar el comportamiento térmico del mismo, con un promedio de 10 segundos para la estructura térmica de acoplamiento, es decir la recopilación de datos según avance la simulación. Al realizar el análisis térmico simulado obtuvieron que cuando la carga de calor del acceso de parada, con el paso del tiempo, el impacto de transferencia de calor por convección es más evidente; por consiguiente a los 80s apareció un fenómeno evidente de temperatura de punto caliente, perjudicado por el reparto del coeficiente de transferencia de calor del espacio de ventilación por convección, y en el disco de 120s la conducta térmica en el diámetro interno es menor que en el disco de 100s, donde la conducta térmica es más grande en el diámetro interno.

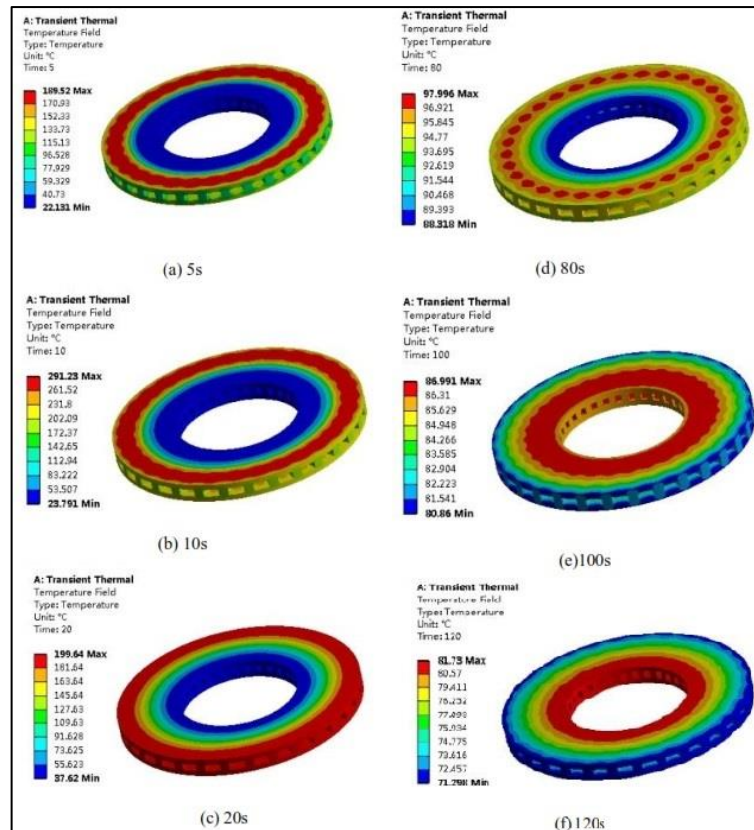


Figura 4-1: Comportamiento térmico en intervalos de tiempo.
Fuente: (Zuo, Zhang y Kong, 2017, p.85-88).

De la figura 4-1; el comportamiento del disco ventilado durante la simulación, en el período 0-10s. Tiene calentamiento en 0-1s muy rápido, con una $T_{\text{máx}}$ de 189,52 °C, mientras que la $T_{\text{máx}}$ de calentamiento es de 291,23°C en 1-10s, siendo estable; cuando $T_{\text{máx}}$ de calentamiento esta de 10-13s presenta un enfriamiento rápido de 199,64 °C. Así $T_{\text{mín}}$ en todo el proceso mostró primero aumento y luego disminución. A los 81s la $T_{\text{máx}}$ y $T_{\text{mín}}$ en sus valores presentan gradualmente la temperatura del área externa de fricción con temperatura de 97,99 °C, donde es más grande que la temperatura del área de fricción que presenta un valor de 93,69 °C cerca de la posición del fenómeno de frenado (Zuo, Zhang y Kong, 2017, p.85-88).

De igual manera en la investigación de (García-León, 2017, p.19-27) el cual baso su estudio en el software Solidworks Simulation para analizar el comportamiento térmico aplicando así el método de enfriamiento de Newton en tres discos de freno ventilados. Para eso se basó en un transporte con una alteración de masa de 1250, 1950 y 2250 Kg y suponiendo que llevan una rapidez de 80 Km/h, circulando en un ambiente de 20°C, la temperatura que se crea en el disco de freno hasta detenerse es de alrededor de 82, 107 y 90 °C respectivamente. Entonces implementando el enfriamiento de Newton los resultados se detallan en la tabla 1-1.

Tabla 1-1: Enfriamiento de Newton en base al tiempo.

DISCO	D.1	D.2	D.3
t(s)	Ti (°C)	Ti (°C)	Ti (°C)
0	82	107	90
600	51,2312	58,1089	56,3124
1200	35,7321	36,6929	38,8367
1800	27,9247	27,3120	29,7715
2400	23,9919	23,2029	25,0689
3000	22,0108	21,4029	22,6294
3600	21,0129	20,6145	21,3640
4200	20,5102	20,2691	20,7075
4800	20,2570	20,1179	20,3670
5400	20,1294	20,0516	20,1904
6000	20,0652	20,0226	20,0987
6600	20,0328	20,0099	20,0512
7200	20,0165	20,0043	20,0265
7800	20,0083	20,0019	20,0019
8400	20,0042	20,0008	20,0071
9000	20,0021	20,0005	20,0037
9600	20,0010	20,0010	20,0019
10200	20,0001	20,0001	20,0009
10800	20,0000	20,0000	20,0004
11400	20,0000	20,0000	20,0001

Fuente: (García-León, 2017, p.19-27).

Al final, los discos de freno al haber sido sometidos a unas temperaturas de 82, 107 y 90 °C respectivamente, en una frenada o algunas frenadas de un recorrido, dichos discos tomarán una temperatura ambiente de 20 °C en alrededor de entre 40 a 60 min, constantemente y una vez que el enfriamiento se dé por convección natural, o sea que el aire en el ambiente deber tener una rapidez igual a cero. Por lo tanto, estudiar el comportamiento térmico mediante pruebas de simulación permite determinar valores para futuras investigaciones (García-León, 2017, p.19-27).

Los discos perforados para sistemas de freno a diferencia de los ventilados normales poseen una característica extra de tener orificios que traspasan el rotor lo que puede ser de beneficio al momento de frenar, según los autores (Jung et al., 2016, p.471-479) en su estudio se enfocaron en tres tipos de discos de freno tales como: ventilado ranurado, ventilado perforado y otro que combina los dos antes mencionados, aplicados a una serie de pruebas en un dinamómetro a una salida de par de 5650 Nm en 1750 RPM manteniendo estos parámetros para las pruebas, en el mismo se simularon velocidades en un rango entre 80 y 100 km/h, determinando así el comportamiento térmico y comparando el desempeño de cada configuración de disco. Las pruebas consistieron en 6 paradas a 100 km/h para medir la eficacia en frío, 1 parada a 100 km/h luego de 20 segundos al culminar las pruebas de eficacia en frío, comparando así las diferentes pruebas en el siguiente gráfico.

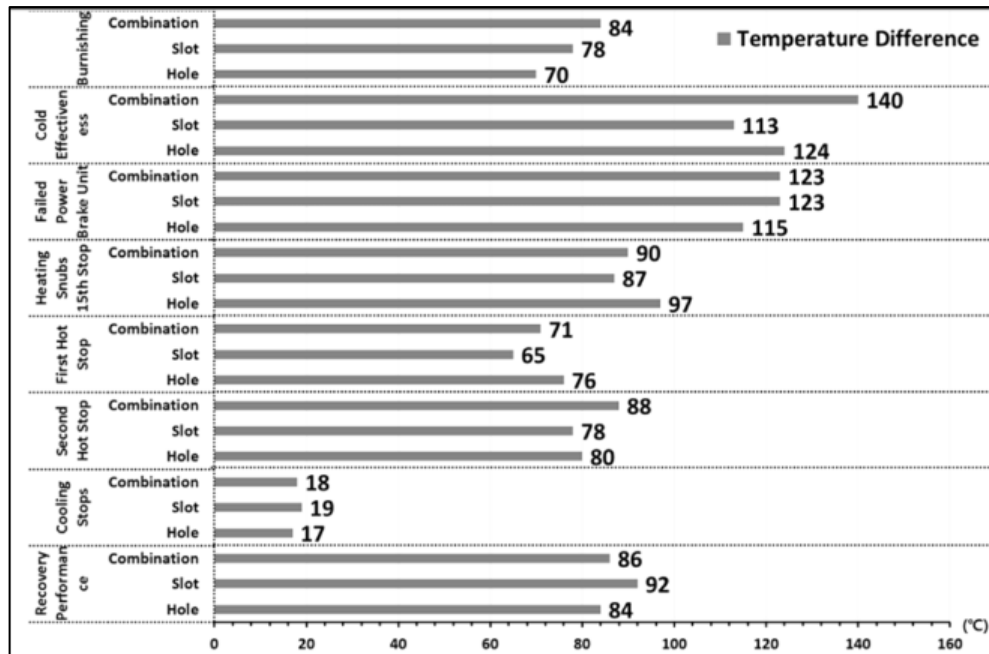


Figura 5-1: Diferencia de temperaturas entre los discos de frenos.

Fuente: (Jung et al., 2016, p.471-479).

En cuanto a la variación en la temperatura al someter los diferentes tipos de discos de freno a una parada caliente y parada de recuperación, en el disco ventilado con un patrón de agujeros (perforado) las temperaturas estuvieron entre 88 °C y 86 °C; así también en el disco ventilado ranurado las temperaturas presentadas fueron entre 78 °C y 92 °C; Finalmente en el disco ventilado con perforaciones y hendiduras, la variabilidad de temperatura se presentó entre 80 °C y 84 °C (Jung et al., 2016, p.471-479).

En un estudio similar desarrollado por los autores (Hong, Jung y Cho, 2019, p.177-185) detallan un análisis computacional de un disco hiperventilado analizando así su comportamiento térmico, para realizar dicha simulación, se basaron en condiciones como: velocidad inicial del vehículo – 100 km/h, velocidad final del vehículo – 0 km/h, intervalo de frenado de 25 segundos, frecuencia de frenado 10 veces; con estos datos simularon 10 repeticiones de frenado teniendo presente como temperatura inicial del disco hiperventilado al momento de iniciar las pruebas 80 °C y una temperatura ambiente de 25 °C, también abarcando que la conductibilidad térmica del disco hiperventilado es mayor que la pastilla de freno.



Figura 6-1: Distribución térmica del disco después de la simulación.

Fuente: (Hong, Jung y Cho, 2019, p.471-479).

En un estudio realizado por (Yan et al., 2018, p.7-8) presentaron una comparación experimental y numérica del rendimiento general del comportamiento térmico y enfriamiento entre diferentes tipos de disco con configuraciones como: ventilados estándar y ventilados perforados, teniendo así la distribución de calor entre la entrada de energía en la superficie de fricción tiene un efecto insignificante en el rendimiento de enfriamiento de los discos hiperventilados mediante el uso de una pastilla de freno para realizar la investigación del comportamiento térmico en los discos perforados. También la velocidad para el experimento fue en un intervalo de 200 a 1000 rpm, el disco perforado exhibe un 31 – 44% mayor de capacidad de enfriamiento general en relación con un disco de freno ventilado, sin embargo, para un disco con un núcleo de red en x, el porcentaje mejora la transferencia de calor, pero es muy bajo, es decir del 9 % al 18 %.

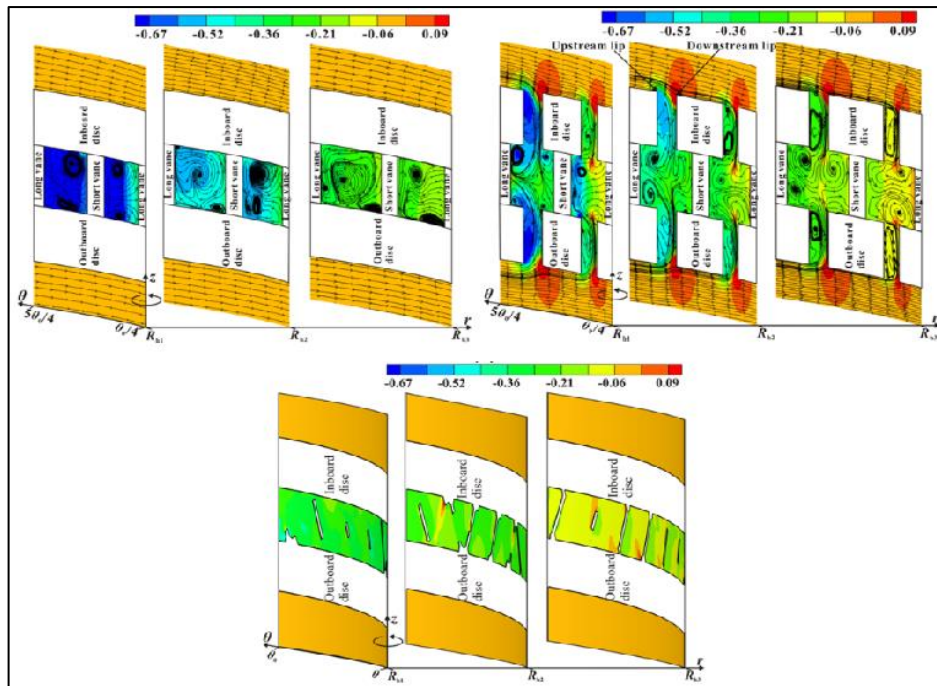


Figura 7-1: Comportamiento térmico de discos de freno: ventilado, perforado y núcleo red x.

Fuente: (Yan et al., 2018, p.7-8).

1.10. Comportamiento térmico de las pastillas de freno

Las pastillas de freno permanecen compuestas por diversos elementos, que debería poder soportar una gigantesca proporción de requisitos de confiabilidad. Las ideales tienen un alto coeficiente de fricción (COF), una tasa de desgaste baja, un ruido mínimo, conductividad térmica y así seguir siendo confiables en diferentes entornos (Tomita, Liu y Leroux, 2018, p.2).

Según los autores (Wei, Choy y Cheung, 2019, p.99-110) presentan en su estudio una aplicación de tres configuraciones de componentes de pastillas de freno como son: orgánicas o NAO, bajo contenido metálico (LM) y semimetálicas (SM); aplicando ciertos parámetros tales como: velocidad del vehículo de 15,2 – 46,6 km/h que ayuda a realizar un frenado ligero en condiciones de conducción urbana donde el vehículo realiza frenadas pero no se para completamente, la distancia de recorrido fue de 22050 m o 22,05 km en un tiempo de 75 a 230 min así para todas pruebas, repitiendo tres veces el recorrido para analizar el comportamiento térmico y la fricción de las pastillas elegidas. Incrementando la temperatura en el siguiente orden: orgánicas o NAO, bajo contenido metálico y semimetálicas, sabiendo que la temperatura de una pastilla de freno varía entre 45 y 130 °C; los datos obtenidos de temperatura se detallan a continuación.

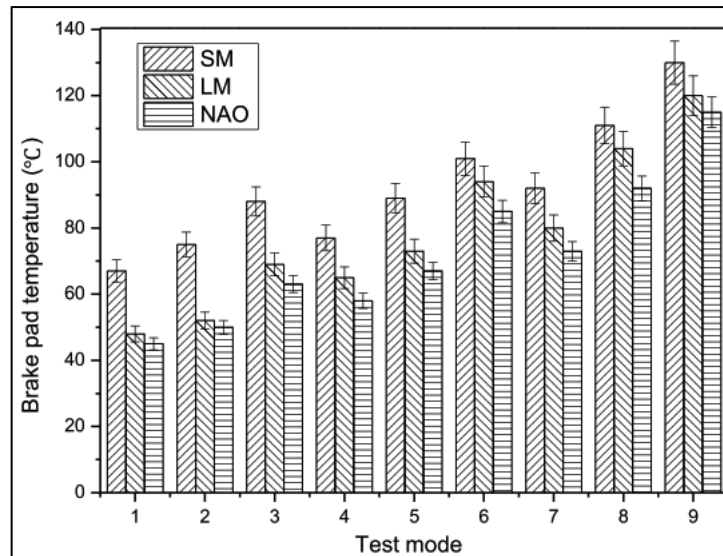


Figura 8-1: Comportamiento térmico de las pastillas al finalizar las pruebas de recorrido.

Fuente: (Wei, Choy y Cheung, 2019, p.99-110).

El comportamiento térmico que presenta una pastilla de freno depende del disco de freno al momento de generar el frenado, en un estudio de simulación desarrollado por (Afzal y Abdul Mujeebu, 2019, p.1489-1513) se centran en el comportamiento que originan varios discos de freno con balatas orgánicas, las pruebas simuladas para la ampliación del estudio de la temperatura de las pastillas de freno fue en un coche de pasajeros con velocidad inicial de 65 km/h y velocidad final de 0 km/h, por tanto, en una prueba de frenado hasta parar por completo el vehículo tarda 45 segundos, teniendo deferencias como: distribución de tensión térmica, análisis térmico y enfriamiento provocado por la corriente de aire. Finalmente, las pastillas de freno con una superficie lisa y rugosa, mostró la distribución de la temperatura resultado de la simulación.

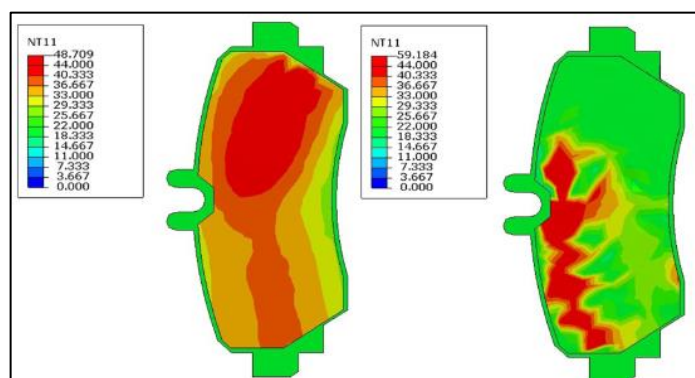


Figura 9-1: Distribución de la temperatura en la superficie lisa y rugosa de la pastilla de freno.

Fuente: (Afzal y Abdul Mujeebu, 2019, p.1489-1513).

Según el autor (Han, 2019, p.287-292) en un estudio similar de simulación por elementos finitos basándose el uso de cuatro tipos de discos como: ventilados, ventilados perforados y ventilados ranurados, combinados con pastillas de freno en un vehículo que circula a una velocidad de 115 km/h, estableciendo así una temperatura inicial de disco y pastilla de 500 °C, con una distribución

térmica causada por la fricción iniciando con un tiempo de 4,5 s; el instante que el freno se acciona hasta un tiempo de 40,5 s cuando el disco se frena totalmente.

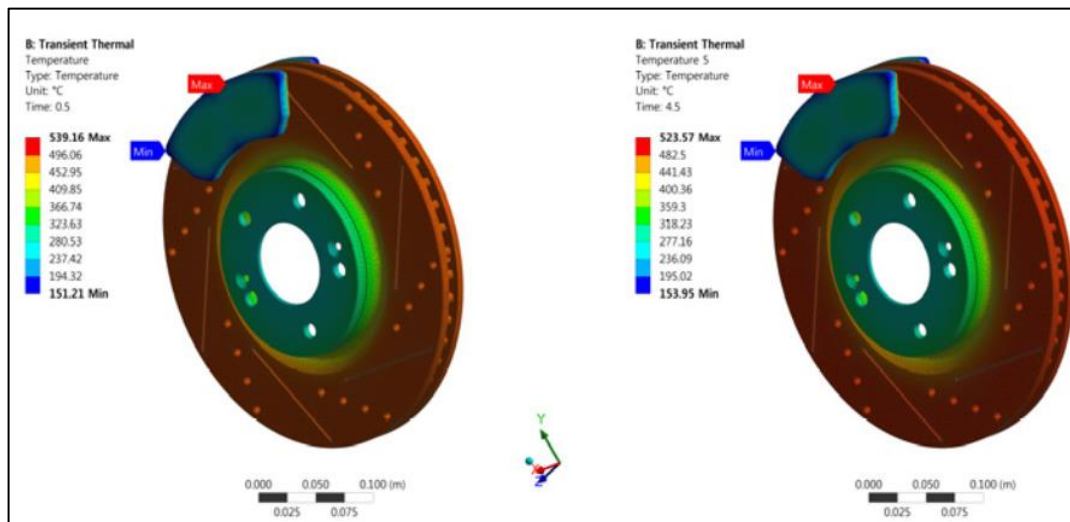


Figura 10-1: Simulación del comportamiento térmico disco-pastilla de freno.

Fuente: (Han, 2019, p.287-292).

En la simulación del conjunto disco y pastillas de freno se constata la partición de la temperatura durante los primeros 0,5 segundos y 4,5 segundos de tiempo de funcionamiento del freno cuando se aplica presión al disco a través de la balata de freno al disco que rota a 1000 rpm, adquiriendo inicialmente al suministrar el frenado una temperatura de 496,06 °C en el disco de freno y 376,64 °C en la pastilla de freno; del mismo modo, a los 4,5 segundos posteriores de haber ejercido el freno la temperatura en el disco es 482,5 °C y en la pastilla de freno es 359,6 °C; el enfriamiento por difusión de calor es de 20 °C esto debido a que el calor de fricción originado en la cara del disco no se conduce y el calor se difunde y enfría debido al contacto con la temperatura del ambiente, esto aportado por la configuración del disco y pastilla de freno (Han, 2019, p.287-292).

Las almohadillas de freno cerámicas actualmente están teniendo mayor acogida ya que poseen características que le diferencian en ciertos aspectos a los otros tipos de almohadillas, en un estudio desarrollado por (Benhassine, Haiahem y Bou-Said, 2019, p.233-240) en donde se realizó simulaciones en Solidworks con tres discos de freno cerámicos de diferentes composiciones aplicados en conjunto con pastillas de freno cerámicas comparándolas entre sí por su buen desempeño en cuanto a sus propiedades tribológicas y excelente comportamiento a elevadas temperaturas; por otra parte las pastillas de freno estas deben presentar propiedades térmicas, reparto adecuado del flujo de calor siendo este mayor en el disco que está sometido a enfriamiento por convección que en las pastillas, para demostrar esto como temperatura ambiente fue de 25 °C constante como condición inicial y que el factor de transmisión de calor por convección depende de las propiedades del medio es de decir del medio ambiente para pruebas experimentales.

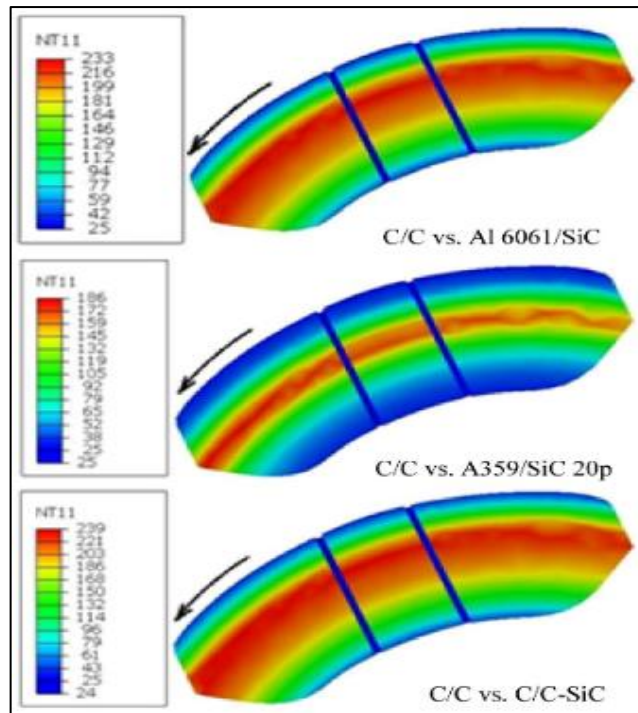


Figura 11-1: Concentración térmica en las superficies de fricción de las pastillas de freno.

Fuente: (Benhassine, Haiahem y Bou-Said, 2019, p.233-240).

En un estudio desarrollado por (Agunsoye et al., 2018, p.182-186) fabrican una pastilla de freno a base de material reciclado el cual se comparó con una pastilla de freno comercial bajo un análisis de estabilidad térmica mediante la pérdida de masa global con análisis termogravimétrico, las pruebas se realizaron en un rango de temperatura de 25 °C a 1000 °C con una velocidad de calentamiento de 10 °C/min, con intervalos de velocidad de deslizamiento y distancia de 2 m/s y 2 m. Las curvas TG describen el comportamiento térmico y solidez de las pastillas de freno comerciales como producida, de los test realizados las curvas producidas demuestran la conducta de las pastillas de freno.

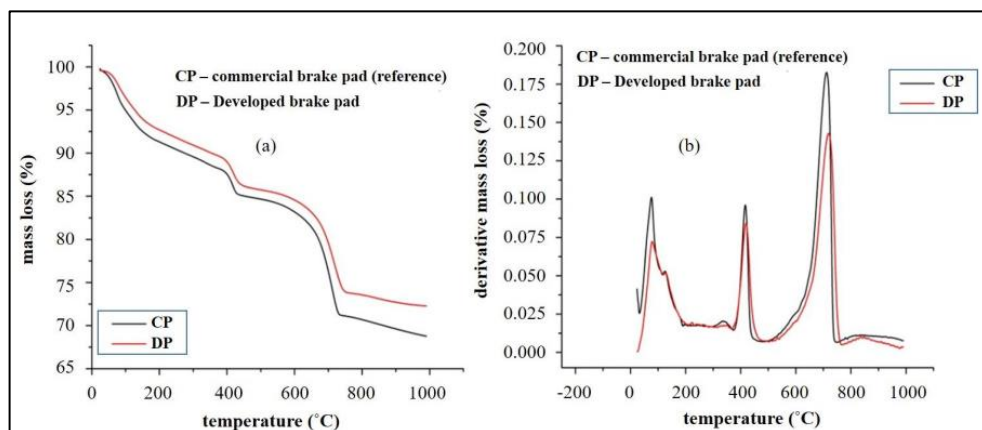


Figura 12-1: Análisis de la temperatura mediante TG en pastilla de freno cerámica comercial y desarrollada.

Fuente: (Agunsoye et al., 2018, p.182-186).

1.11. Adquisición de datos

En los sistemas de freno no se cuenta con un sistema de adquisición de datos del comportamiento térmico del mismo, pero se han desarrollado algunos estudios donde se utilizan diferentes configuraciones para adquirir datos y analizar el funcionamiento del sistema en base al comportamiento térmico, cabe recalcar que en la mayoría de estudios se han centrado en un solo tipo de disco y almohadillas de freno. En un estudio desarrollado por (Lamjahdy y Markert, 2017, p.327-328) para realizar la medición termo mecánica de un disco de freno ventilado, usaron un banco de simulación el cual posee un pirómetro, un sensor capacitivo, sistema espejo y un codificador incremental para la sincronización de la cámara térmica como se muestra en la figura.

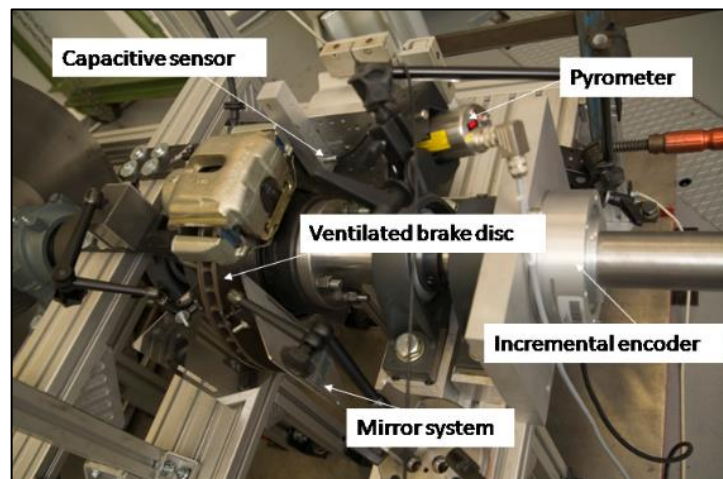


Figura 13-1: Banco de pruebas para análisis térmico.

Fuente: (Lamjahdy y Markert, 2017, p.327-328).

La prueba realizada en este banco de pruebas fue de un frenado de arrastre con un tiempo de frenado de 420 segundos y una temperatura inicial de 25 °C, basándose en un automóvil de pasajeros de alta gama para el par de fricción, así mismo la mordaza y pastillas de freno se fijan en la estructura del soporte (Lamjahdy y Markert, 2017, p327-328).

La adquisición de datos del comportamiento térmico del sistema se lo puede realizar en diferentes configuraciones y materiales, en el estudio realizado por (Belhocine y Afzal, 2019, p.285-286) la medición de la temperatura se la realizo mediante termopares de fricción de Cu integrados en el disco por su facilidad de uso, bajo costo y disponibilidad del elemento, también se lo uso por su estabilidad al medir la temperatura ya que están en contacto directo con el disco de freno.

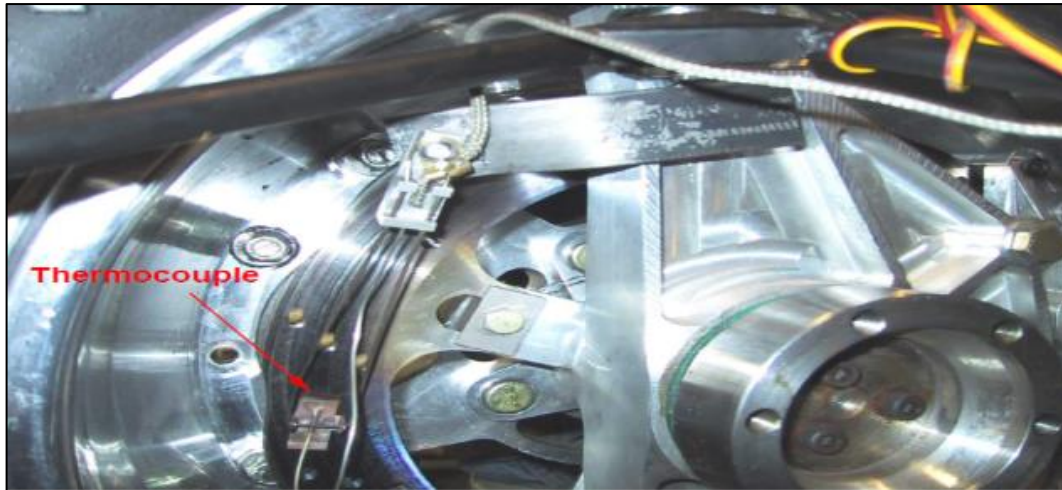


Figura 14-1: Ubicación del termopar en el disco de freno.

Fuente: (Belhocine y Afzal, 2019, p.285-286).

Para adquirir los datos del comportamiento térmico del disco de freno, el termopar de frotación se incorporó para obtener la temperatura en la superficie intrínseca del disco, los datos obtenidos se registraron en un computador mediante un software registrador de datos de Fluke (Belhocine y Afzal, 2019, p.285-286).

Los datos que se desean obtener pueden ser característicos del disco de freno o pastilla de freno, asimismo del conglomerado completo, en el trabajo desarrollado por (Bernard y Jayakumari, 2018, p.3) se lo realizó en un dinamómetro para sistemas de freno, el cual estaba implementado con un sistema para medir la temperatura de las pastillas y disco de freno mediante un sensor infrarrojo sin contacto, dicho sensor entrega una salida analógica que está adecuadamente acondicionada y alimentada a una tarjeta de interfaz conectada a la computadora en la que se controla y analiza el comportamiento térmico bajo las pruebas de frenado.

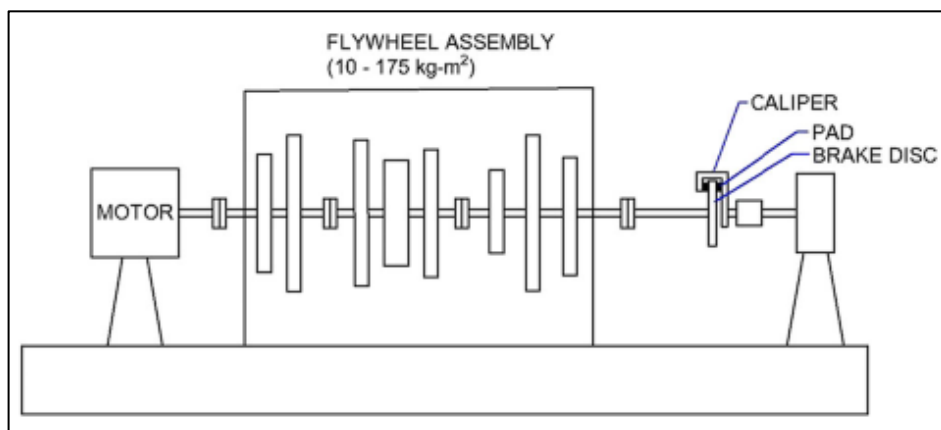


Figura 15-1: Banco dinamométrico de pruebas para frenos.

Fuente: (Bernard y Jayakumari, 2018, p.3).

En un estudio desarrollado en la ciudad de Quito – Ecuador por (Méndez y Muñoz, 2017, p.54-76) en el cual desarrollaron un sistema de adquisición de datos mediante una tarjeta Arduino, pantalla LCD y termopares, los cuales se ensamblaron previo a tener un diseño electrónico y la

programación necesaria para la construcción del prototipo, para la instalación en el vehículo la ubicación de la caja de elementos se la ubico sobre el tablero para tener buena visibilidad y debe está bien asegurada; para la instalación de los termopares en la pastilla de freno mediante un orificio para que tenga contacto directo con el material de la pastilla.



Figura 16-1: Instalación del prototipo en el vehículo.

Fuente: (Méndez y Muñoz, 2017, p.54-76).

Se realizaron pruebas con el prototipo ya instalado en el vehículo para verificar el correcto funcionamiento del mismo, realizando comparaciones de temperatura que se obtiene con el equipo y un pirómetro, también mediante la termocupla de un multímetro; los valores deben ser iguales comprobando así el correcto funcionamiento del equipo (Méndez y Muñoz, 2017, p.54-76).

CAPITULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

2.1. Diseño metodológico

2.1.1. Tipo de investigación

Teniendo en cuenta el tipo de problema a estudiar y los objetivos planteados para la investigación que se realizó, se decidió un estudio aplicado y de tipo experimental ya que se obtendrán datos para su posterior análisis.

- Aplicada. – Se considera una investigación aplicada ya que se pretende estudiar el comportamiento térmico del sistema de freno ventilado e hiperventilado con la aplicación de varios tipos de pastillas de freno.
- Experimental. – Se estima experimental por que se obtienen valores térmicos mediante la realización de diferentes pruebas para el estudio.

2.2. Operación de variables

2.2.1. Variables independientes

Parámetros en el vehículo y el medio donde se desarrollará el trabajo, teniendo así:

Pastillas de freno

Pista de prueba

Velocidad del automotor

- 100 km/h – Prueba de frenado

Temperatura ambiente – 16 °C

2.2.2. Variable dependiente

Indica el comportamiento térmico de los sistemas de freno ventilado e hiperventilado en el eje frontal del automotor en cuál se trabajara, también la distancia de frenado; mediante la implementación de las diferentes pastillas de freno.

2.3. Procedimiento

Para el desarrollo del estudio se hizo énfasis en algunos ítems detallados en la figura 17-2, los cuales permitirán explicar paso a paso el estudio en el sistema de freno hiperventilado.

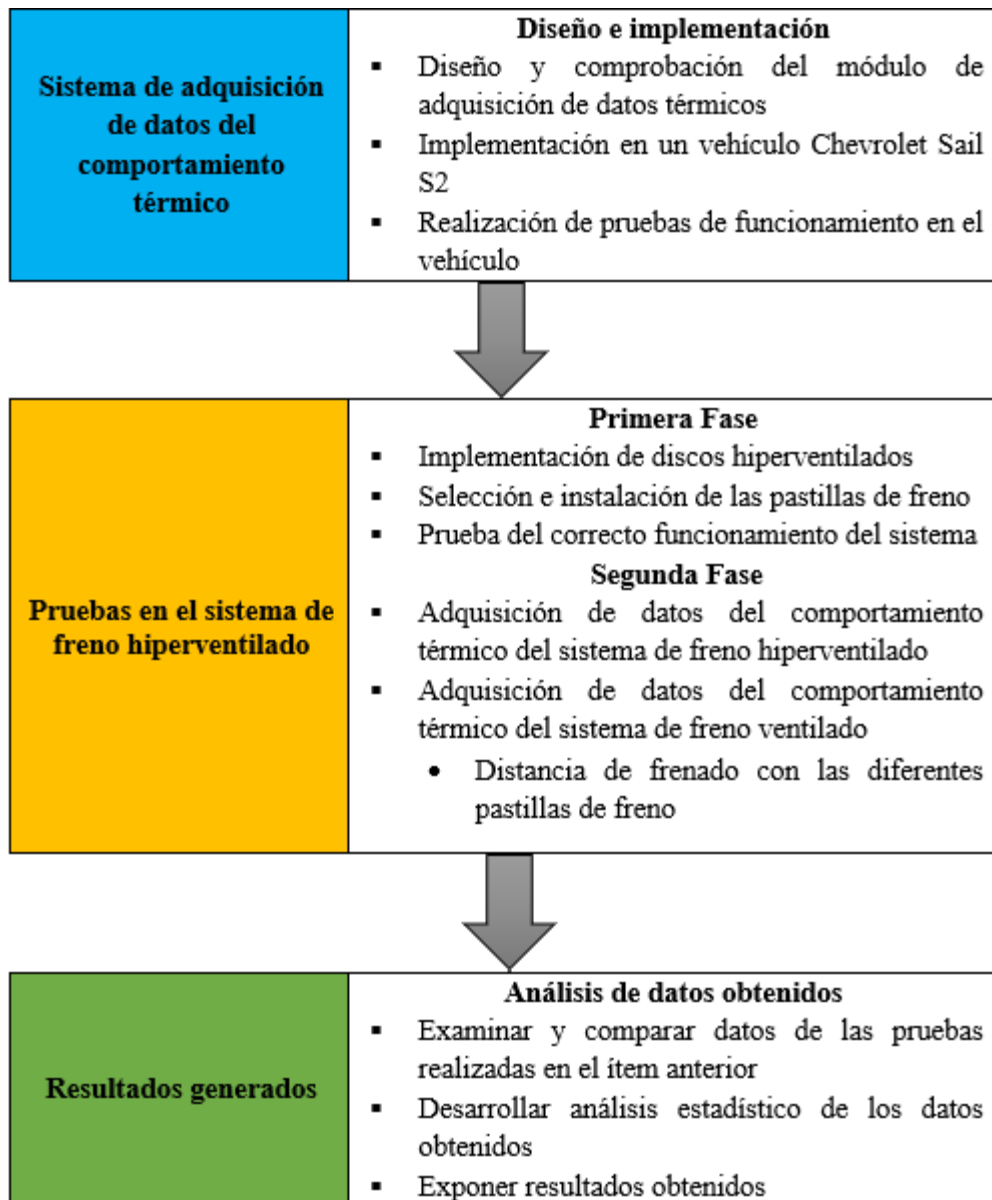


Figura 1-2: Parámetros para el desarrollo del estudio.

Fuente: (Zhan, Fard y Jazar, 2017, p.141)

Realizado por: Puente, C. 2021

2.3.1. *Diseño y comprobación del sistema para la adquisición de datos*

Para desarrollar el presente trabajo se procedió a realizar un sistema de adquisición de datos mediante el diseño de un circuito electrónico compuesto de elementos esenciales para el funcionamiento del mismo, como son: tarjeta Arduino Nano, sensores infrarrojos, pantalla LCD y un adaptador de tarjeta microSD; estos como componentes fundamentales del circuito.

2.3.1.1. *Diseño del circuito electrónico*

Para el diseño básico del circuito se utilizó un simulador electrónico, en el que se realizó el diagrama del circuito electrónico y de igual manera se realizó la distribución de los componentes en una PCB digital, verificando su correcto funcionamiento para posterior realizarlo físicamente.

2.3.1.2. Construcción del módulo de adquisición de datos

En la construcción del módulo de adquisición de datos se realizó un diseño previo mediante el programa Solidworks, para distribuir los componentes en una carcasa protectora diseñada e impresa en 3D para proteger de posibles daños en la instalación en el vehículo.

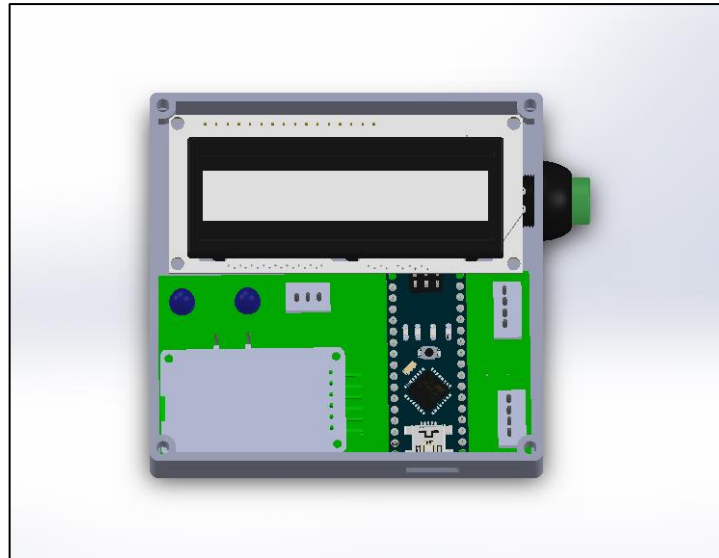


Figura 2-2: Módulo de adquisición de datos en Solidworks.

Realizado por: Puente, C. 2021

Luego de haber realizado el modelado en el software se procedió a construir el modelo final que será instalado en el vehículo basándose en la distribución de componentes antes desarrollado con el fin de optimizar el equipamiento en el automotor.

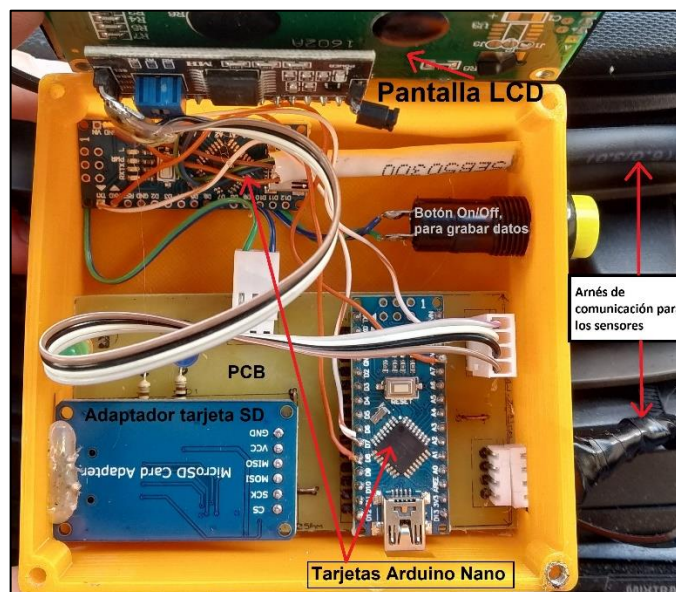


Figura 3-2: Distribución de los elementos electrónicos.

Realizado por: Puente, C. 2021

2.3.2. Implementación en el vehículo

El diseño y pruebas previas del correcto funcionamiento se realizó al finalizar la construcción del equipo para la adquisición de datos mediante sensores infrarrojos, luego se llevó a cabo la instalación en el vehículo, analizando las posibles ubicaciones del módulo en el tablero del habitáculo, así como la colocación de los arneses y sensores en el sistema de frenado.

2.3.2.1. Posicionamiento del módulo en el tablero del vehículo

Al momento de realizar el posicionamiento del módulo en el tablero, se analizó las posibles ubicaciones que tendría y la facilidad que se obtendría para llevar los sensores desde el habitáculo de pasajeros hasta el eje delantero del vehículo de manera optimizada y segura, la instalación del equipo se visualiza en la figura 20-2.

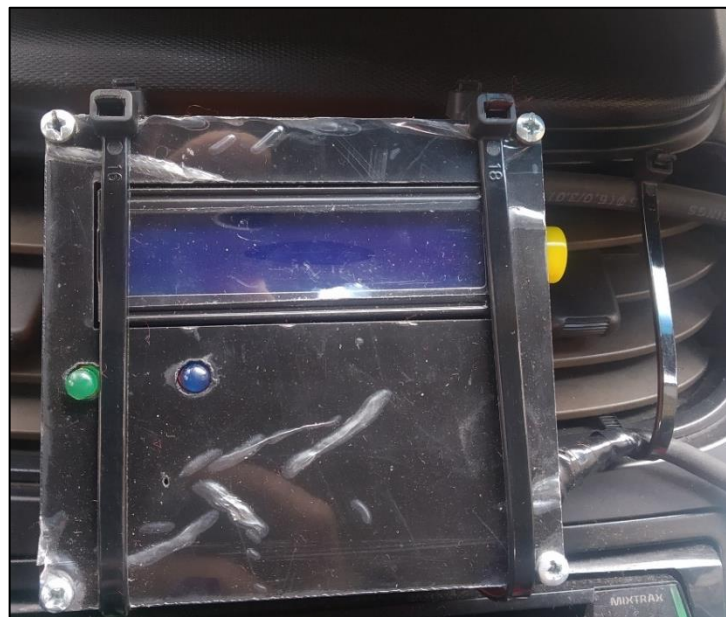


Figura 4-2: Instalación del módulo en el tablero del vehículo.
Realizado por: Puente, C. 2021

2.3.2.2. Instalación de los sensores infrarrojos

En esta parte, la instalación de los sensores infrarrojos se desarrolló un previo montaje de prueba para verificar la ubicación de los cables y los sensores, pero luego de conducir el vehículo se notó algunos problemas con los cables de los sensores, cambiando la ubicación de los sensores a su posición definitiva sin presentar inconvenientes al conducir.

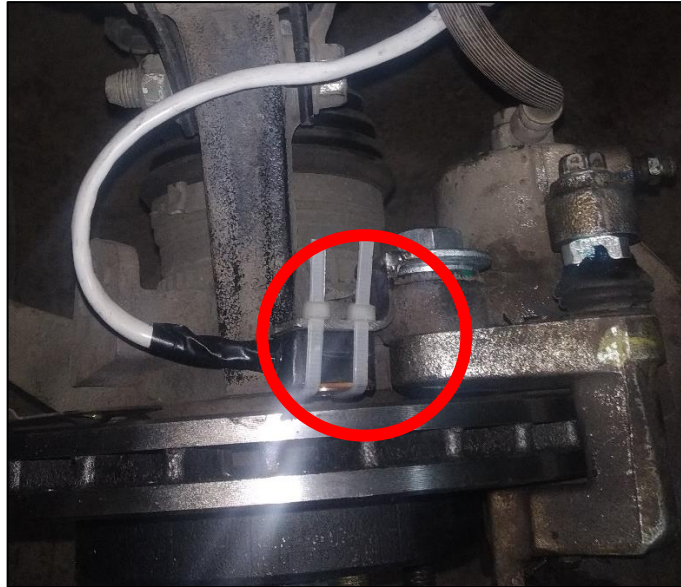


Figura 5-2: Ubicación final de los sensores infrarrojos.
Realizado por: Puente, C. 2021

2.3.2.3. Pruebas de funcionamiento de los sensores

Para verificar que los sensores estén realizando su trabajo correctamente se efectuaron pruebas de conducción urbana para comprobar que estén aportando datos de lectura aceptables para desarrollar eficazmente las pruebas de sistema de frenado hiperventilado.



Figura 6-2: Comprobación del funcionamiento de los sensores.
Realizado por: Puente, C. 2021

2.3.3. Pruebas en el sistema de freno hiperventilado

A fin de ejecutar las pruebas con el sistema de freno hiperventilado para su posterior análisis, se tuvo que realizar algunas modificaciones en los frenos del eje delantero del vehículo, debido a que este tipo de automotor de fabrica es comercializado con discos ventilados por lo cual se debió cambiar dichos componentes por discos hiperventilados para realizar las pruebas del estudio.

2.3.3.1. Reemplazo de discos de freno

Para sustituir los discos de freno se consiguió discos de freno hiperventilados para el vehículo de prueba en el cual se procedió a hacer el reemplazo de los elementos, en el proceso se deben tener ciertas precauciones y las herramientas adecuadas para ejecutar la tarea.



Figura 7-2: Cambio de discos de freno.

Realizado por: Puente, C. 2021

2.3.3.2. Selección de pastillas de freno

Las pastillas de freno en este estudio son elementos esenciales. Por lo tanto, se eligió dos diferentes pastillas de freno para el vehículo de prueba, teniendo en cuenta para la adquisición el precio y la marca procedente de fabricación las cuales posteriormente serán instaladas en el sistema de freno ventilado como hiperventilado para realizar las pruebas y posterior analizar el comportamiento térmico.

Se optó por la adquisición de la marca PROFESSOR PREMIUM BRAKES, estas pastillas de freno tienen un valor de \$ 15,00 en el mercado local, que por su precio razonable esta entre las más compradas por los conductores, pero con el desconocimiento de que tan confiables pueden resultar al realizar su trabajo en el sistema de freno.



Figura 8-2: Pastillas de freno PPB.

Realizado por: Puente, C. 2021

Según el fabricante resalta algunas cualidades de las pastillas para su comercialización al consumidor final.

Tabla 1-2: Características según el fabricante.

Características
Libre de asbesto
Low Fade (Desvanecimiento bajo)
Ruido y desgaste bajo
Larga vida de uso y buena resistencia al calor
Sensación de buen frenado y buena estabilidad en el sistema
Coefficiente de fricción: GF

Fuente: (Professor Brake Parts, 2010)

Realizado por: Puente, C. 2021.

También se optó por las pastillas de freno marca BRAKE PAK con un valor de \$ 40,00 en el mercado local, ubicándose en una posición intermedia en costo de adquisición para los conductores.



Figura 9-2: Pastillas de freno BP.

Realizado por: Puente, C. 2021

Según este fabricante presenta cualidades del producto para su comercialización al consumidor final.

Tabla 2-2: Características según el fabricante.

Características
Material 100 % libre de asbestos
Alta tecnología para vehículos normales de trabajo continuo
Control de ruido y gran potencia
Alta refrigeración térmica en el conjunto de frenado
Biseles, ranuras de fricción, para garantizar adherencia y seguridad al frenar.
Biseles de precisión para el control NHV
Coefficiente de fricción: FF

Fuente: (Brake Pak, 2020)

Realizado por: Puente, C, 2021.

2.3.3.3. *Instalación de las pastillas de freno*

Para llevar a efecto el montaje de las pastillas de freno para esta investigación se utilizaran las preliminarmente seleccionadas para ello se debe desarrollar el siguiente proceso.

- Primero se debe embancar el vehículo para trabajar de manera segura y después se debe desmontar el neumático.



Figura 10-2: Embanque y desmontaje del neumático.

Realizado por: Puente, C. 2021

- Como siguiente paso se debe retirar los pernos que sostienen a la pinza de freno y fijar en un sitio adecuado para precautelar daños en el latiguillo de freno.

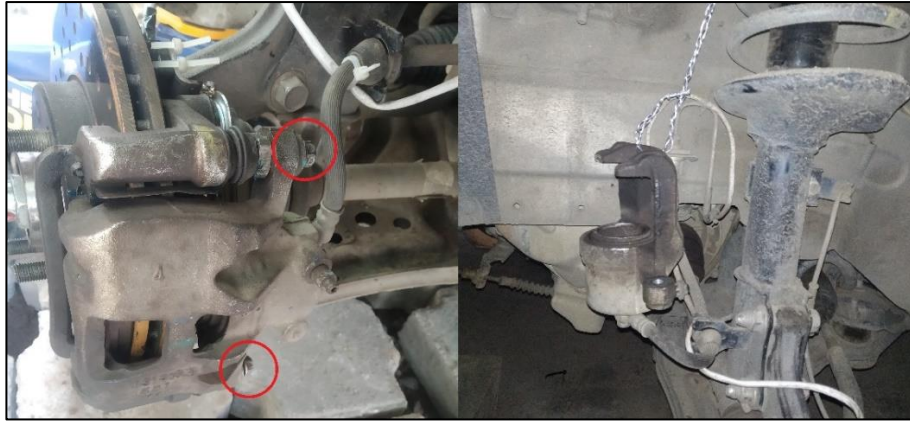


Figura 11-2: Desarmado de la mordaza de freno.

Realizado por: Puente, C. 2021

- Al haber efectuado el paso anterior, se realiza el montaje de las pastillas de freno elegidas.



Figura 12-2: Instalación de las pastillas de freno.

Realizado por: Puente, C. 2021

- Finalmente, se realiza el proceso de manera inversa con todos los elementos desmontados, asegurándose que se armen de manera correcta para su funcionamiento óptimo.

Se debe tener presente que el proceso de instalación es el mismo para las diferentes pastillas de freno; para posterior ejecutar las pruebas se debe hacer trayectos preliminares para que los elementos de fricción se encajen idóneamente eludiendo posibles fallos en el sistema de freno.

2.3.3.4. Verificación del funcionamiento del sistema de freno hiperventilado

Este proceso se realizó para chequear el correcto funcionamiento y que sea seguro el sistema para llevar a cabo las pruebas y analizar el comportamiento térmico del mismo, ya que si no funciona correctamente se debe corregir los fallos presentes con el fin de asegurar el bienestar del conductor y obtener un trabajo eficaz del sistema de freno hiperventilado.

2.3.4. Adquisición de datos del comportamiento térmico del sistema de freno

La adquisición de datos es una parte esencial de este estudio porque mediante esto se compilarán datos de las distancias de frenado que se realizará con el vehículo para estudiar el comportamiento térmico de las pastillas de freno elegidas aplicadas en los sistemas de freno ventilados e hiperventilados del eje delantero de dicho vehículo, para posterior su posterior análisis.

2.3.4.1. Distancia de frenado con las pastillas de freno seleccionadas

Esta prueba consiste en examinar y comparar el comportamiento térmico y distancias de frenado del sistema de freno ventilado e hiperventilado en el eje frontal del automotor de prueba, probando las pastillas de freno escogidas anteriormente.

A fin de realizar la prueba de frenado se escogió una pista de 3 km, en mencionada pista se ubicó un punto referencial que indica donde se inicia el inicio del frenado.

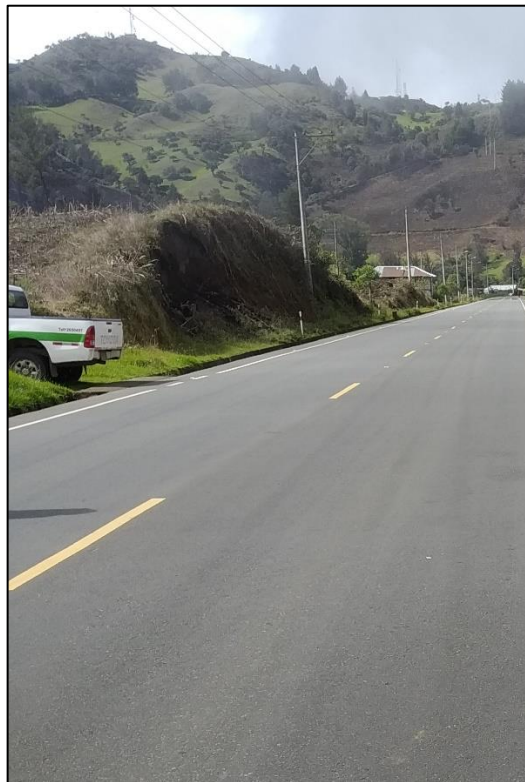


Figura 13-2: Pista de pruebas.

Realizado por: Puente, C. 2021

El automotor elegido para llevar a efecto la prueba fue puesto en marcha hasta alcanzar los 100 km/h como velocidad inicial, al llegar el vehículo al punto de referencia en la pista se aplicó la fuerza necesaria sobre el pedal, hasta que el automóvil se detenga por completo.



Figura 14-2: Automóvil de prueba.

Realizado por: Puente, C. 2021

Para efectuar el test de distancia de frenado se tomó en cuenta realizar la prueba con el freno ventilado para obtener datos preliminares del comportamiento térmico de las pastillas de freno elegidas, para su posterior análisis con los datos recopilados del freno hiperventilado.

2.3.5. *Análisis de variables*

En la adquisición de datos del comportamiento térmico del sistema de freno se analizó los diferentes niveles y variables para desarrollar la prueba de distancia de frenado y obtener los datos del comportamiento térmico del sistema de frenado para más adelante analizarlo. Asimismo, se muestra los factores implícitos en la tabla 3-2.

Tabla 3-2: Designación de factores y niveles para su estudio.

Factores	Niveles	Designación
Sistema de freno	Ventilados	A1
	Hiperventilados	A2
Pastillas de freno	Professor Premium Brakes	PPB-1
		PPB-2
		PPB-3
	Brake Pak	BP-1
		BP-2
		BP-3

Fuente: (Rocha-Hoyos et al., 2019, p140-141)

Realizado por: Puente, C. 2021.

Según los autores (Rocha-Hoyos et al., 2019, p140-141), realizar un análisis estadístico del trabajo que se va a desarrollar es transcendental, ya que mediante iteraciones de las pruebas como mínimo tres, a través de los factores y niveles determinados se obtendrán datos confiables de las pruebas ejecutadas para su posterior análisis.

2.3.5.1. *Análisis de datos*

En el estudio se muestra el comportamiento de la variable dependiente: comportamiento térmico (°C), distancias de frenado (m); al emplear las pastillas de freno escogidas anteriormente en los

dos sistemas de freno que se usaran de referencia, que simulan el efecto variabilidad del sistema. Para efectuar el análisis estadístico se parte de las abreviaturas presentadas en la tabla 4-2 lo que permitirá determinar si existen diferencias o no. Para ello se usará el análisis ANOVA el cual valora la importancia de uno o más factores al realizar la comparativa de las medias de las variables de respuesta implícitas en el trabajo en los diferentes niveles de los factores, lo que permite saber si los datos mantienen una relación o existe una diferencia significativa, por lo cual analizar con este método proporciona un 95 % de confianza al obtener los resultados (Rocha-Hoyos et al., 2019, p140-141) (Minitab, 2020).

Tabla 4-2: Tratamiento para el análisis de datos.

No.	Sistemas de freno	Pastillas de freno
1	A1	PPB-1
2	A1	PPB-2
3	A1	PPB-3
4	A1	BP-1
5	A1	BP-2
6	A1	BP-3
7	A2	PPB-1
8	A2	PPB-2
9	A2	PPB-3
10	A2	BP-1
11	A2	BP-2
12	A2	BP-3

Fuente: (Rocha-Hoyos et al., 2019, p140-141)

Realizado por: Puente, C, 2021.

En cuanto a desarrollar la prueba de distancia de frenado para analizar el comportamiento térmico de los dos sistemas de freno (ventilado e hiperventilado), se realizará un total de seis pruebas por almohadilla de freno con el fin de obtener mayor cantidad de datos lo que permitirá manejar un análisis más certero para realizar las posteriores comparativas tanto del comportamiento térmico y la distancia de frenado.

CAPITULO III

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

A partir de las pruebas en el capítulo precedente, se recopilan los resultados en base a lo desarrollado en los dos sistemas de freno probando las pastillas de freno en el eje delantero del automóvil, posibilitando así la estimación del comportamiento térmico de las pastillas de freno probadas en los sistemas de frenado.

3.1. Resultados del comportamiento térmico

Inicialmente como resultado de los casos realizados en el comportamiento térmico de los dos sistemas de freno tanto el A1 y A2; y pastillas de freno PPB y BP en sus diferentes designaciones, se extrajeron datos térmicos que se representan a continuación gráficamente.

3.1.1. Sistema de freno ventilado

En el gráfico 1-3 se muestra las curvas características del comportamiento térmico de PPB-1 y sistema de freno ventilado (A1), esto como resultado de realizar seis repeticiones bajo las mismas condiciones en el medio seleccionado.

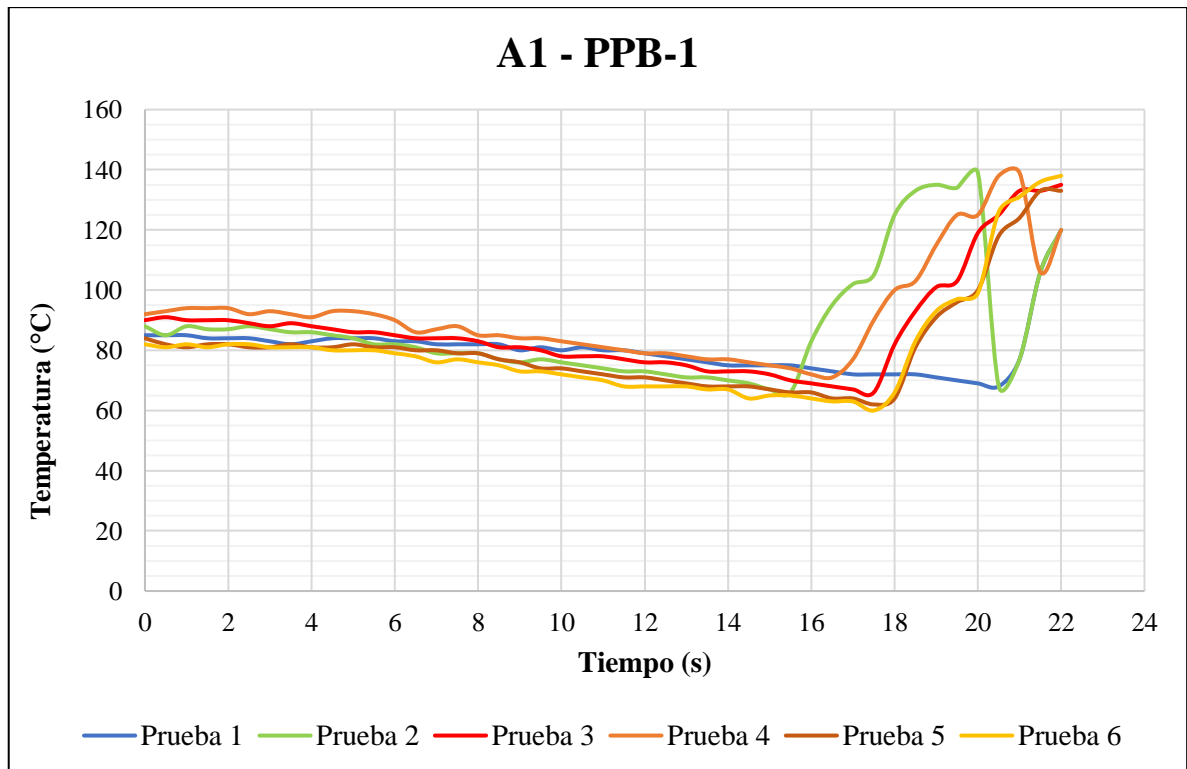


Gráfico 1-3: Comportamiento térmico PPB-1 en A1.

Realizado por: Puente C. 2021

En efecto del gráfico 1-3 se puede destacar el comportamiento térmico logrado con PPB-1 tomando en cuenta que la temperatura inicial oscila entre 80 °C y 90 °C, observando así que en

la prueba 1 se tiene un comportamiento térmico como base, ahora bien, en la prueba 2 se puede evidenciar como a los 15,5 s, empieza a tener un aumento térmico llegando así a un pico de 140 °C a los 20 s y posterior a ello un descenso térmico, para finalmente aumentar a los 120 °C. También se puede ver como las curvas de la prueba 3, prueba 5 y prueba 6 tienen un comportamiento similar con pequeñas diferencias de tiempos finalizando en 140 °C, asimismo la prueba 4 tiene un comportamiento similar a las anteriores, pero con un inicio más temprano en el ascenso térmico que alcanza los 140 °C a los 21 s y finalmente desciende a 120 °C.

Ahora bien, en el gráfico 2-3 se muestra el comportamiento térmico mediante curvas características de PPB-2.

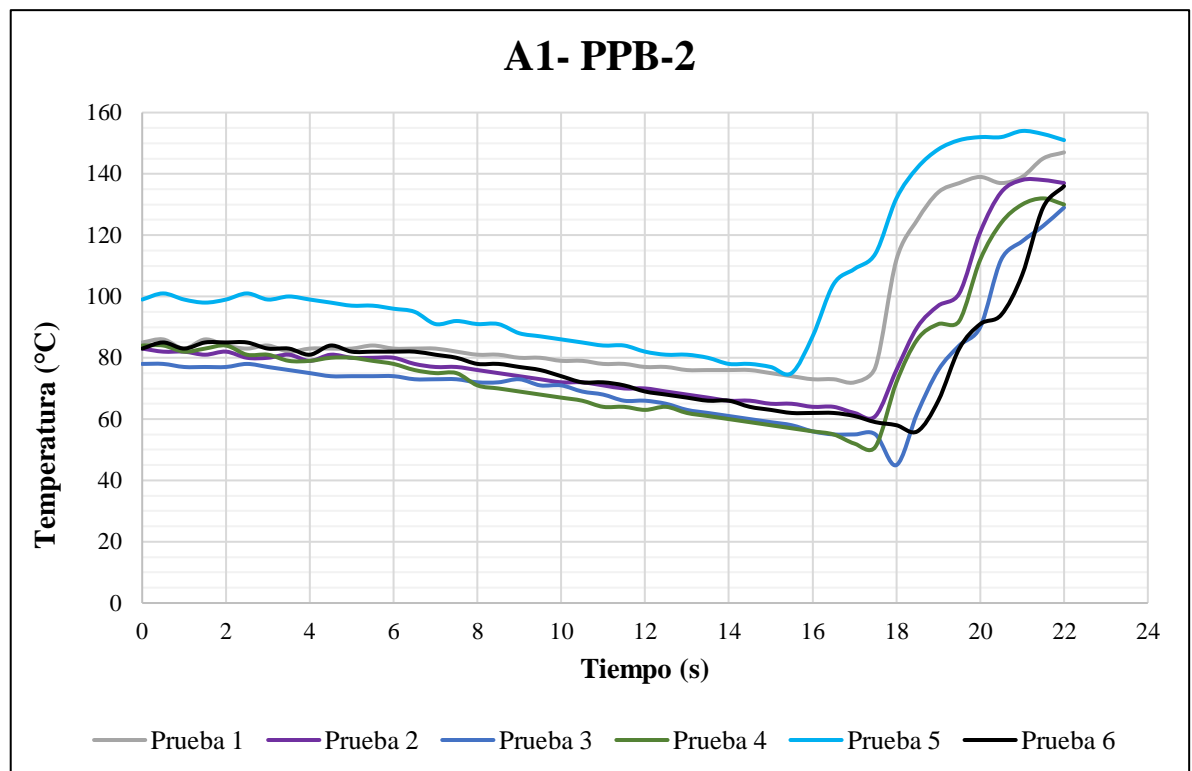


Gráfico 2-3: Comportamiento térmico PPB-2 en A1.

Realizado por: Puente C. 2021

Por tanto, como resultado de las pruebas realizadas con las PPB-2, se puede observar que todas las pruebas inician a una temperatura de 80 °C a excepción de la prueba 5, que inicia a 100 °C. Ahora bien, se puede ver como la prueba 1 y la prueba 5 comparten cierta similitud, aunque su diferencia está en el rango térmico que inician, aunque al final comparten un punto en común. Asimismo, en las pruebas 2,3,4 y 6, tienen comienzos muy similares en comportamiento, pero desde el segundo 17 se nota como varían, aunque al finalizar la prueba 2 y la prueba 6 llegan a una temperatura de 135 °C y del mismo modo tanto la prueba 3 como la prueba 4 finalizan en 130 °C.

También en el gráfico 3-3, se muestra el comportamiento térmico de PPB-3.

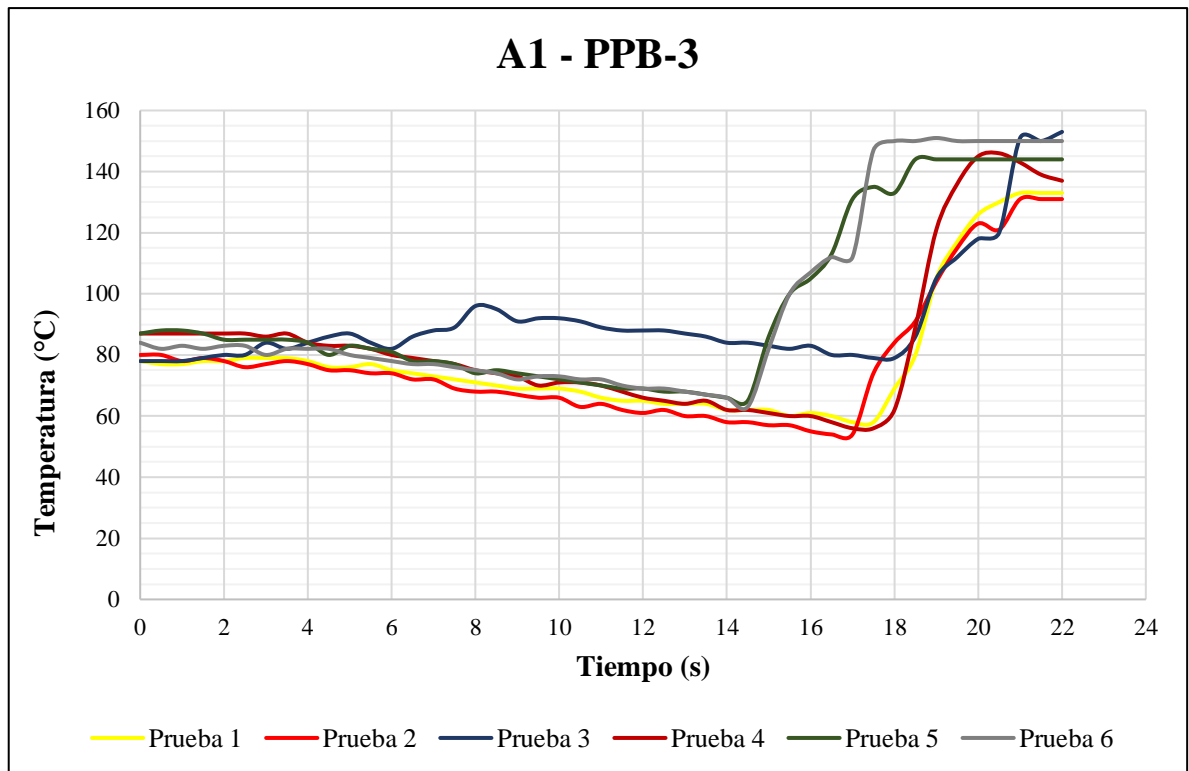


Gráfico 3-3: Comportamiento térmico PPB-3 en A1.

Realizado por: Puente C. 2021

Por consiguiente, en el gráfico se puede observar que las pruebas inician a una temperatura entre 80 °C y 85 °C, de esta manera las curvas en las pruebas 1, 2 y 4 demuestran un comportamiento térmico semejante, pero la prueba 2 empieza su crecimiento térmico a los 17 s y la prueba 1 y 4 un segundo más tarde, pero al finalizar llegar a una temperatura de 135 °C a excepción de la prueba 4 que aumenta abruptamente hasta los 145 °C y finaliza con una temperatura igual que las pruebas 1 y 2. Por otra parte la curva de la prueba 3 tiene un incremento térmico a 95 °C a los 8 s pero desciende levemente hasta los 18 s, donde vuelve a incrementar hasta llegar a una temperatura que bordea los 155 °C. Finalmente las pruebas 5 y 6 tienen un comportamiento térmico similar hasta los 17 s, en ese punto se nota cierta variación finalizando con 10 °C de diferencia.

De la misma forma se muestra los resultados adquiridos de las pruebas llevadas a cabo en el sistema de freno A1 con pastillas de freno BP-1, en sus diferentes designaciones. Ulteriormente, en la figura 4-3 se muestra las curvas características como resultado de las pruebas desarrolladas.

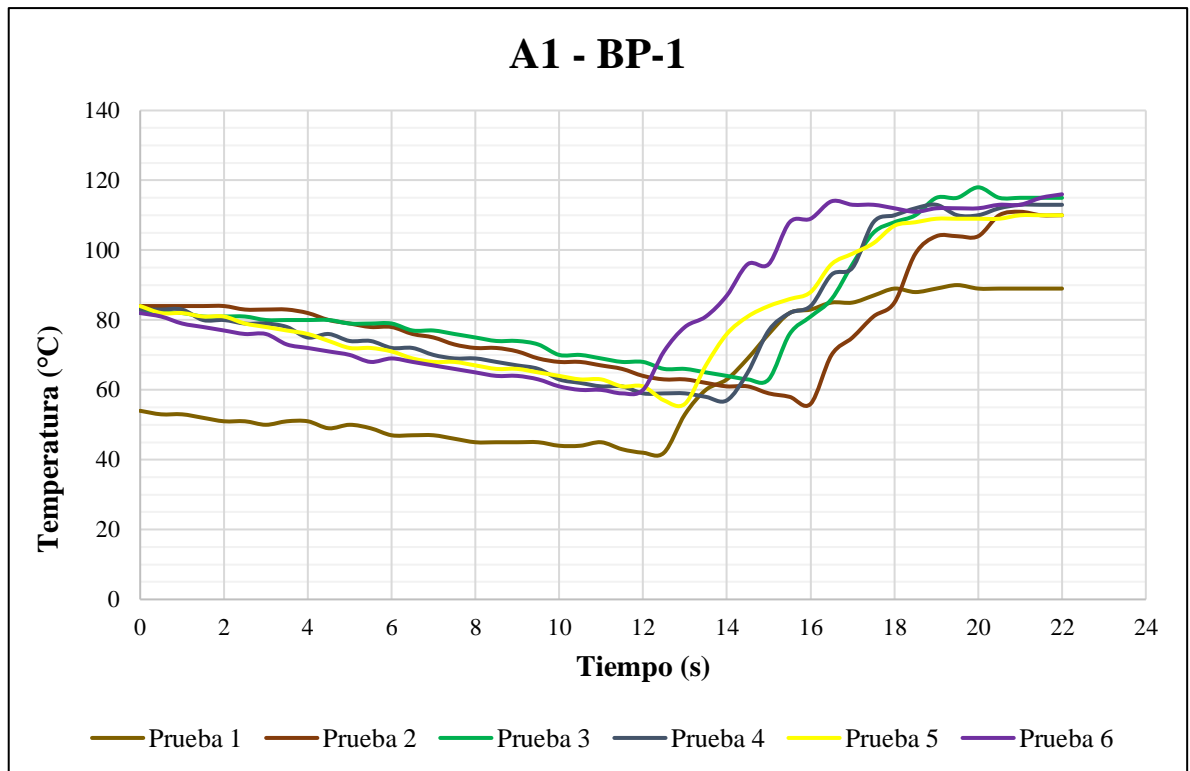


Gráfico 4-3: Comportamiento térmico PB-1 en A1.

Realizado por: Puente C. 2021

En efecto del gráfico anterior se puede ver como las curvas características empiezan a una temperatura de 80 °C, al contrario de la prueba 1 que tiene un inicio de 55 °C descendiendo levemente hasta el segundo 13 donde empieza a incrementar térmicamente hasta los 18 segundos y desde ahí manteniéndose constante en una temperatura de 90 °C. Del mismo modo las pruebas 2, 3, 4, 5 y 6 tienen un comienzo similar cayendo levemente, empezando a incrementar térmicamente en diferentes lapsos de tiempo y finalmente llegando a una temperatura por debajo de los 120 °C.

Por consiguiente, en el gráfico 5-3 se muestra el resultado de las pruebas realizadas con las pastillas BP-2 en forma de curvas del comportamiento térmico en un lapso de tiempo que duro cada prueba.

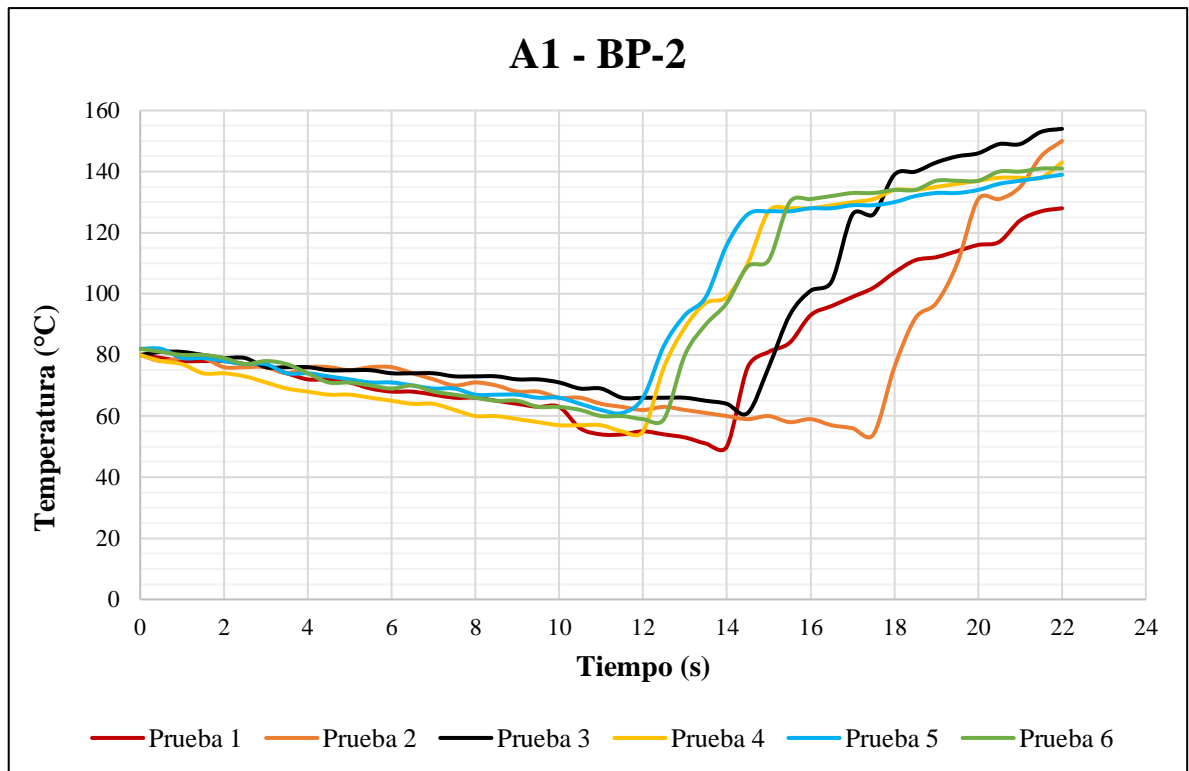


Gráfico 5-3: Comportamiento térmico PB-2 en A1.

Realizado por: Puente C. 2021

Como se puede observar en el gráfico 5-3, que todas las pruebas inician en los 80 °C y en las pruebas realizadas se ve como tienen un descenso térmico, pero como se puede ver la prueba 1 comienza a aumentar en el segundo 14, llegando así a una temperatura de 127 °C en el segundo 22. Asimismo, las pruebas 2 y 3 tienen un comportamiento térmico similar, pero con una diferencia de 2 segundos finalizando así la prueba 2 con una temperatura de 155 °C y prueba 3 en 160 °C, por último los test 4, 5 y 6 tienen un comportamiento similar y empiezan su incremento térmico a los 12 segundos con una leve diferencia de tiempo entre las tres pruebas finalizando en una temperatura de 140 °C.

Finalmente, se presenta el gráfico 6-3 como resultado de las pruebas realizadas con BP-3 en el sistema A1, obteniendo así las curvas características de cada prueba realizada bajo las mismas condiciones en el medio seleccionado.

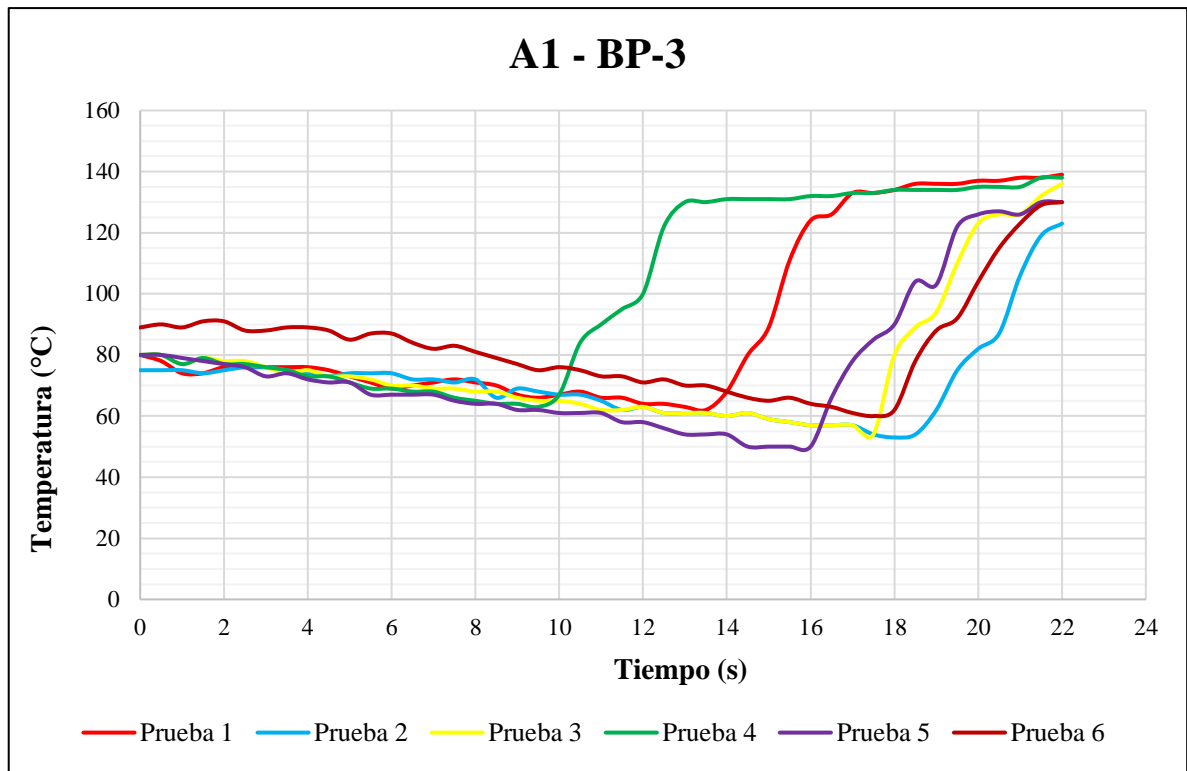


Gráfico 6-3: Comportamiento térmico PB-3 en A1.

Realizado por: Puente C. 2021

Con respecto al gráfico se puede ver como las pruebas inician en una temperatura de 80 °C a excepción de la prueba 6 que tiene temperatura preliminar de 90 °C, asimismo, se puede observar el comportamiento de la curva de la prueba 1, la cual empieza su incremento térmico a los 13,5 segundos aumentando así hasta finalizar en 140 °C al igual que la prueba 4 aunque esta empieza su incremento a los 10 segundos. Del mismo modo la prueba 2, en el segundo 19 empieza a incrementar y llega a un máximo de 122 °C; en cambio la prueba 3, empieza su incremento a los 17,5 segundos y llega a la temperatura máxima de 135 °C. Finalmente al analizar el comportamiento de la prueba 5 se examina como tiene un mayor descenso de temperatura y a partir del segundo 16 incrementa hasta llegar a la temperatura máxima de 130 °C.

3.1.2. Sistema de freno hiperventilado

Como resultado de las pruebas ejecutadas con el sistema de freno A2 y pastillas de freno PPB y BP se obtuvieron datos del comportamiento térmico de cada tipo de pastilla de freno aplicando bajo las mismas condiciones que el sistema mencionado en el apartado anterior, de este modo se tiene lo siguiente como resultados de lo realizado.

Para empezar, se adjunta el gráfico 7-3, que corresponde a las curvas características obtenidas del comportamiento térmico de las pastillas PPB-1 y el sistema A2.

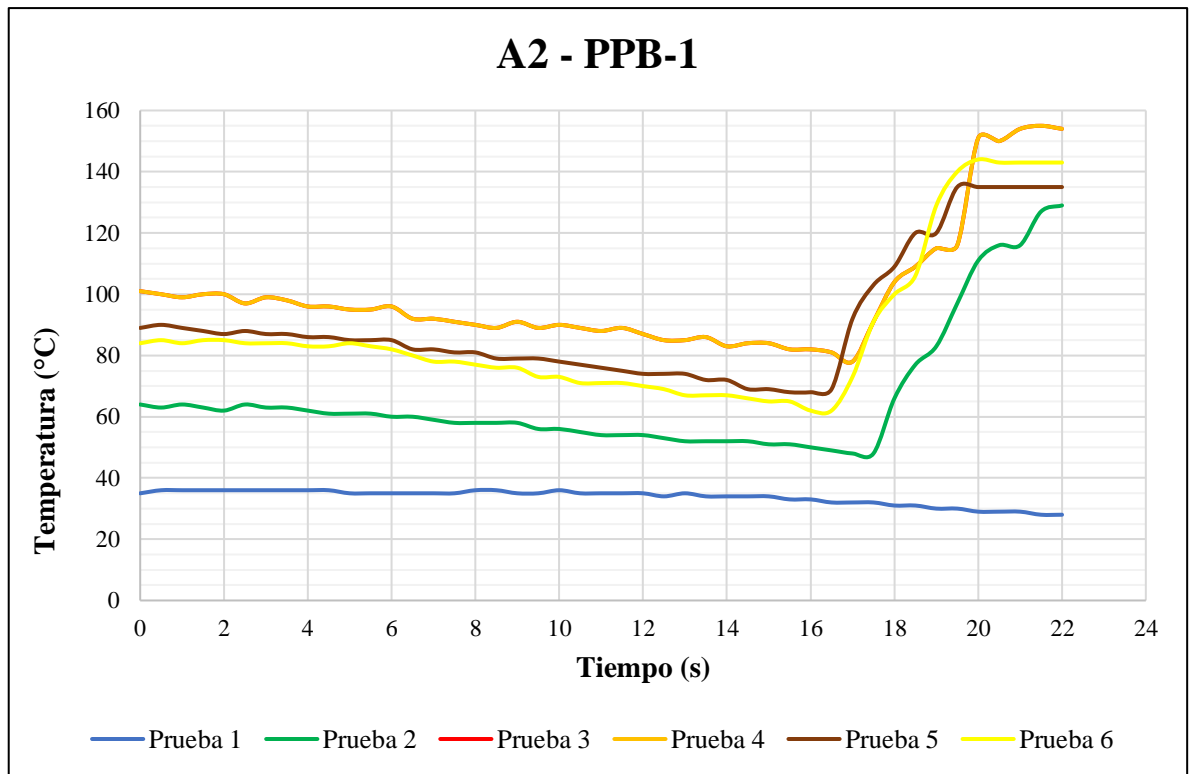


Gráfico 7-3: Comportamiento térmico PPB-1 en A2.

Realizado por: Puente C. 2021

Como se puede ver en el gráfico 7-3, las pruebas en todos sus casos tienen un inicio térmico diferente debido a que este sistema de freno tarda un poco más en adquirir temperatura, por lo que la prueba 1 empieza en 35 °C y se mantiene casi constante hasta finalizar teniendo un leve descenso en los segundos finales, por otra parte la prueba 2 tiene una temperatura inicial de 64 °C y desciende ligeramente mientras transcurren los segundos pero a partir del segundo 17,5 empieza a aumentar finalizando con una temperatura de 130 °C. Asimismo la prueba 4 tiene una temperatura inicial de 100 °C lo que provoca que al concluir la prueba en el segundo 22, su temperatura final sea de 155 °C, finalmente las pruebas 5 y 6 tienen un comportamiento similar aunque finalizan con una diferencia de 10 °C.

A continuación, en el gráfico 8-3 se muestra el resultado de las pruebas realizadas con las pastillas PPB-2 en el sistema de freno A2.

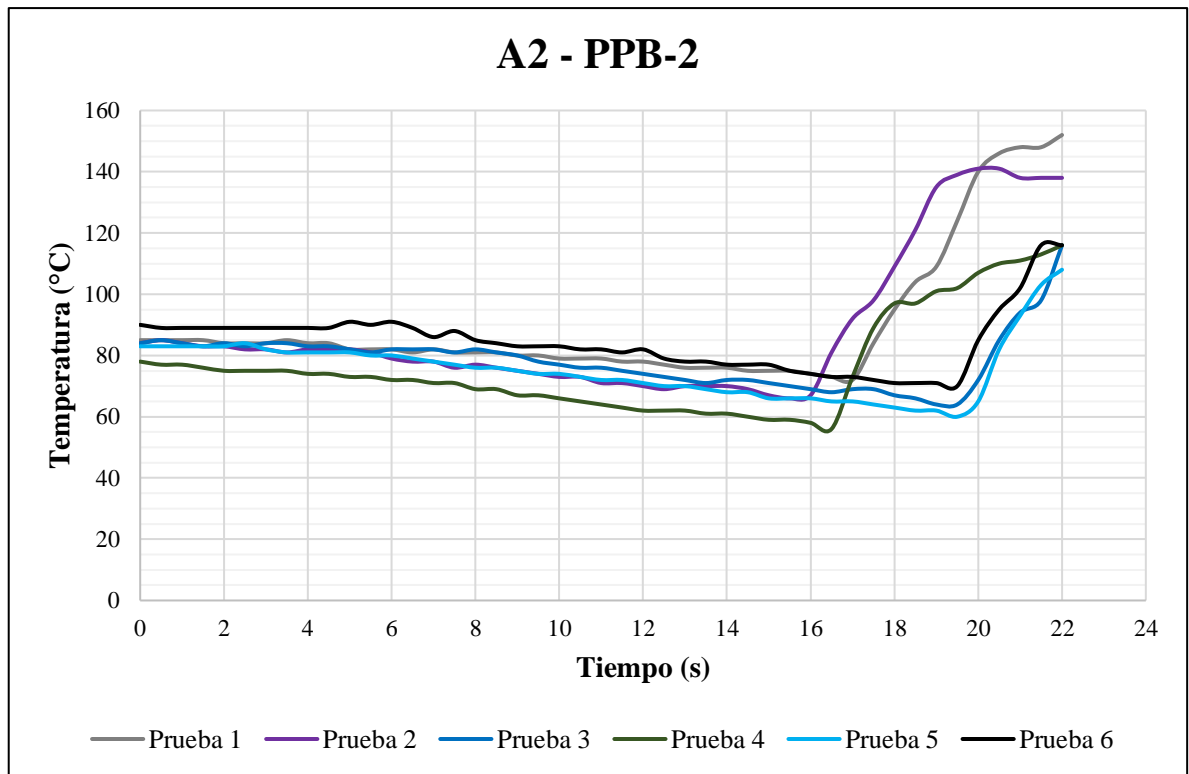


Gráfico 8-3: Comportamiento térmico PPB-2 en A2.

Realizado por: Puente C. 2021

Tal como se puede observar en el gráfico presentado las pruebas realizadas, la prueba 1 tiene una temperatura inicial de 80 °C y se mantiene así los primeros segundos descendiendo a partir de los 10 segundos hasta el segundo 16,5 donde comienza a incrementar su temperatura debido a que se empieza a aplicar el freno lo que provoca este aumento térmico y una temperatura final de 150 °C, por otra parte, la prueba 2 principia con una temperatura de 80 °C y luego decreciendo hasta el segundo 16, donde inicia a incrementarse hasta el segundo 22 donde la temperatura final es 138 °C. Ahora bien, la prueba 3 tiene su temperatura inicial en 80 °C disminuyendo así hasta los 19 segundos y finaliza con una temperatura de 115 °C al igual que las pruebas 4 y 6 que coinciden en el mismo punto. Finalmente, la prueba 5 al igual que la anterior tiene un comportamiento térmico similar, pero como temperatura final de 108 °C.

Del mismo modo en el gráfico 8-4 se incorpora las curvas del comportamiento térmico de las pruebas realizadas con las pastillas PPB-3.

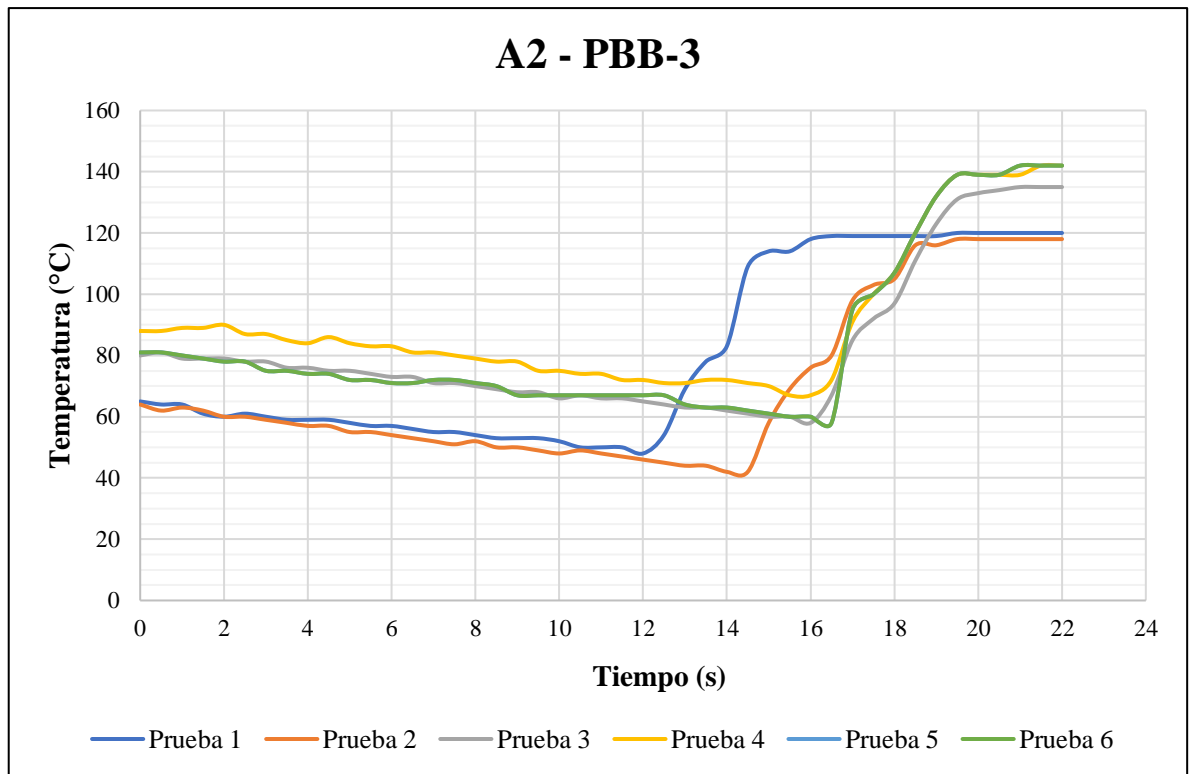


Gráfico 9-3: Comportamiento térmico PPB-3 en A2.

Realizado por: Puente C. 2021

Del gráfico presentado se puede ver como las pruebas 1 y 2 mantienen una similitud en el comportamiento térmico hasta el segundo 12 donde la trayectoria de la prueba 1 empieza a incrementar rápidamente hasta el segundo 16 en donde mantiene una temperatura de 120 °C constante hasta finalizar, por otro lado la prueba 2 a partir del segundo 14,5 donde empezó el proceso de frenado empieza a incrementar hasta el segundo 19 donde alcanza la temperatura de 118 °C manteniéndose constante hasta culminar la prueba. También las pruebas 3 y 6 se comportan similar al transcurrir los segundos hasta los 16,5 segundos donde empiezan a incrementar la temperatura finalizando con una diferencia de 5 °C en los últimos segundos. Para culminar, las pruebas 4 y 5 tienen un comportamiento muy similar por eso al observar el gráfico se superponen dar principio con una temperatura de 90 °C y concluyen con una temperatura de 140 °C.

Ahora bien, al finalizar las pruebas con las pastillas PPB, se realizó el mismo procedimiento en el sistema A2 sin embargo, en este caso con las pastillas BP. Englobando en el gráfico 10-3 lo alcanzado de las pruebas llevadas a cabo con las pastillas BP-1.

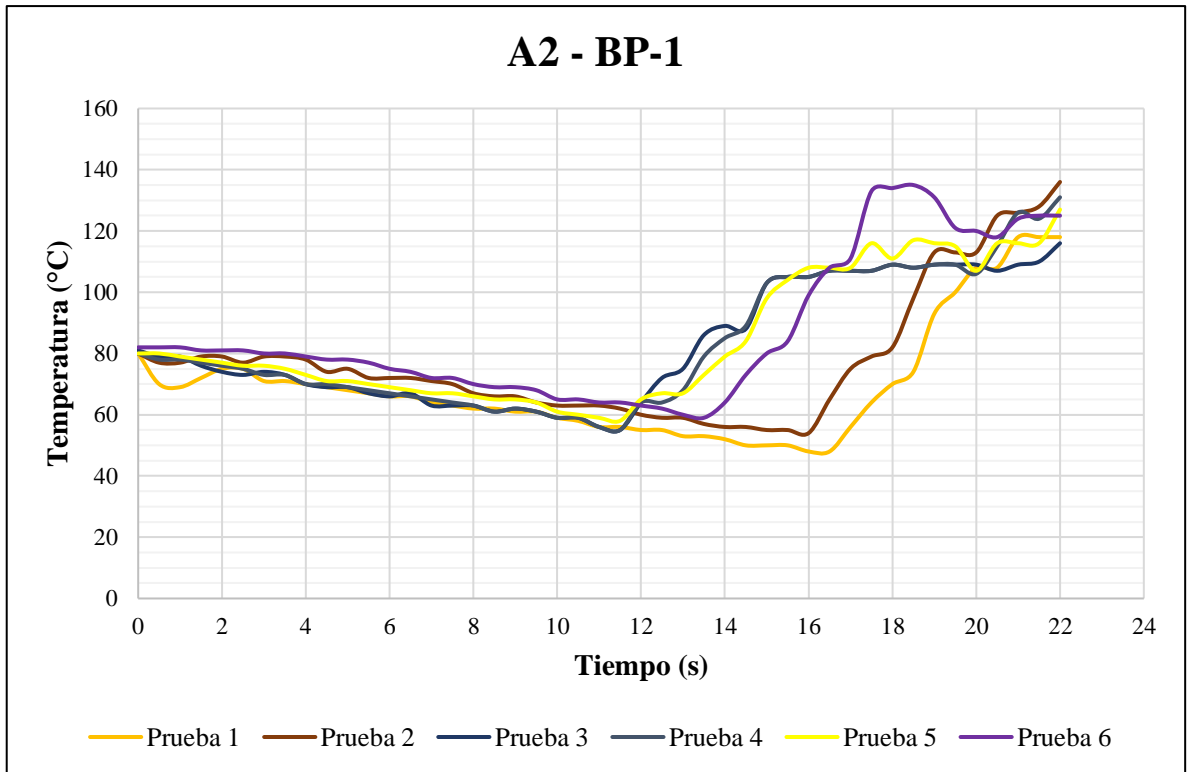


Gráfico 10-3: Comportamiento térmico BP-1 en A2.

Realizado por: Puente C. 2021

De acuerdo con el gráfico 10-3 se puede ver como todas las pruebas realizadas tienen una temperatura inicial de 80 °C, las pruebas 1 y 2 tienen un comportamiento térmico similar decreciendo hasta el segundo 16 por debajo de los 60 °C donde empieza el frenado provocando que la temperatura incremente hasta la temperatura máxima de 118 °C en la prueba 1 y la prueba 2 de 135 °C, del mismo modo el resultado de la prueba 3 es un comportamiento similar a las anteriores pero a los 13 segundos empieza a incrementar la temperatura en el sistema alcanzando un pico máximo de 135 °C a los 18 segundos pero rápidamente desciende finalizando con una temperatura de 125 °C. Finalmente las últimas tres pruebas tienen un comportamiento similar con ciertas variaciones en ciertos segundos pero finalizan con una temperatura máxima de 130 °C.

Del mismo modo en el gráfico 11-3, se muestra el comportamiento térmico obtenido como resultado de las pruebas realizadas con las pastillas denominadas BP-2 en el conjunto de freno hiperventilado.

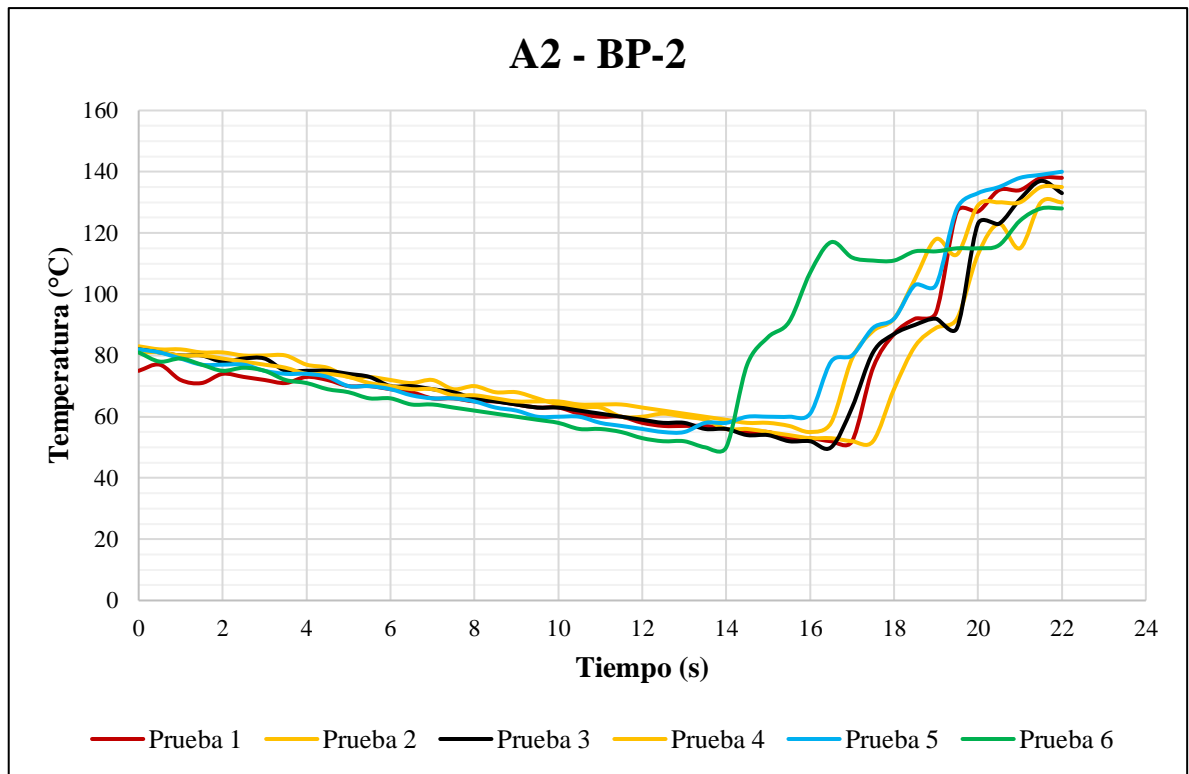


Gráfico 11-3: Comportamiento térmico BP-2 en A2.

Realizado por: Puente C. 2021

Del gráfico 11-3 se puede ver como todas las pruebas tienen una temperatura inicial de 80 °C, teniendo un comportamiento térmico similar descendiendo por debajo de los 60 °C, de este modo en la prueba 1 al iniciar el frenado a los 17 segundos empieza a incrementar la temperatura llegando a un punto máximo de 140 °C, del mismo modo la prueba 2 inicia a incrementar la temperatura 0,5 segundos luego de la prueba 1, llegando de esta forma a una temperatura máxima de 130 °C. En la curva de la prueba 3 se puede ver que es similar a la prueba 1 pero su temperatura final a los 22 segundos es de 132 °C, también los test 4 y 5 tienen un comportamiento térmico similar aunque claramente se evidencia que su incremento inicia medio segundo de diferencia y finalizan con una diferencia de temperatura de 5 °C a los 22 segundos, finalmente la prueba 6 tiene un comportamiento diferente a las anteriores pruebas ya que su incremento inicia a los 14 segundos alcanzando una temperatura de 116 °C y decrece rápidamente manteniéndose constante a una temperatura de 110 °C por 3 segundos y finalizando con una temperatura de 128 °C.

Para culminar, se muestra el resultado de las pruebas ejecutadas con las pastillas BP-3 y el sistema de freno hiperventilado como se adjunta en el gráfico 12-3.

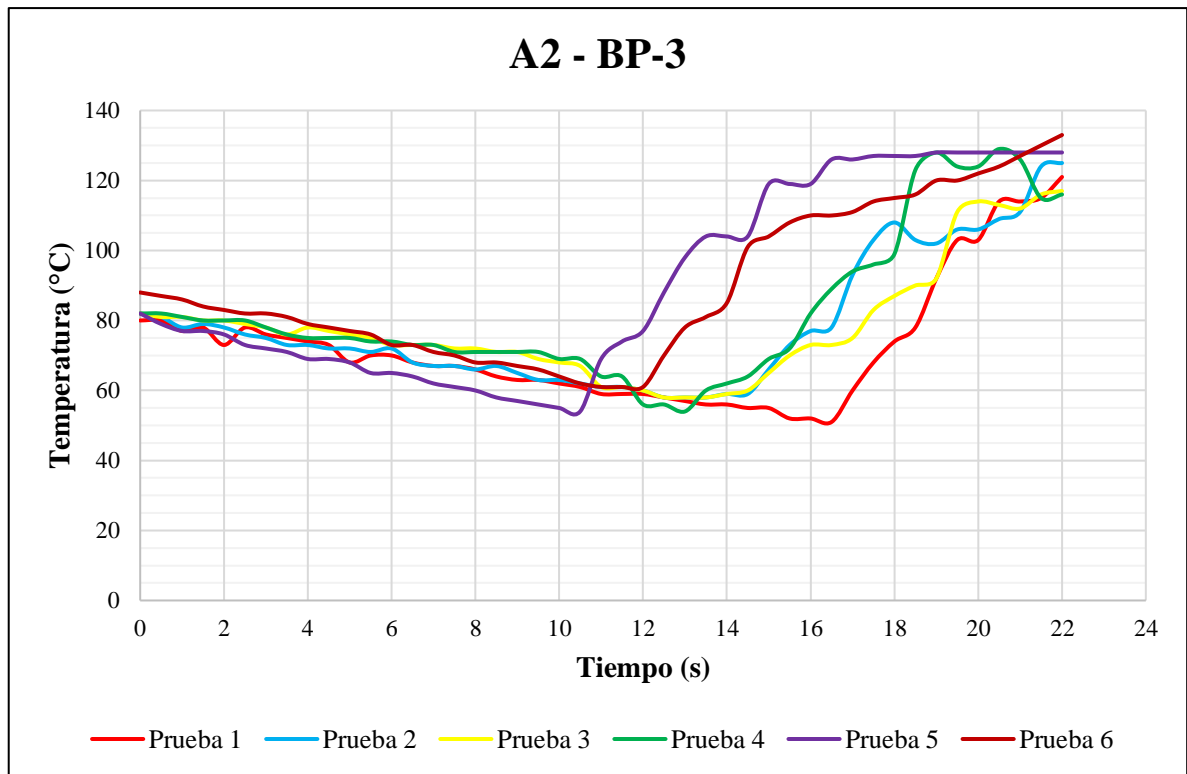


Gráfico 12-3: Comportamiento térmico BP-3 en A2.

Realizado por: Puente C. 2021

Como se muestra en el gráfico 12-3, se puede ver como todas las pruebas inician en 80 °C a excepción de la prueba 6 que inicia a los 87 °C, Por lo tanto en la prueba 1 se ve como decrece hasta los 50 °C en el segundo 16,5 donde empieza a incrementar debido a que el vehículo frena llegando a una temperatura final de 120 °C, asimismo las pruebas 2, 3 y 4 tienen un comportamiento térmico similar pero a partir del segundo 16 se visualizan ciertas diferencias de temperatura aunque en el segundo 22 llegan a una temperatura de 115 °C, excepto la prueba 2 que aumenta 10 °C más que las pruebas anteriores. Finalmente, la prueba 5 empieza con una temperatura inicial de 80 °C decreciendo en decurso del test y a partir del segundo 10,5 empieza a incrementar hasta alcanzar una temperatura de 125 °C a los 17 segundos y a partir de ahí se mantiene constante hasta finalizar la prueba, por otra parte, la prueba 6 decrece hasta el segundo 12 por de los 70 °C y empieza a incrementar hasta llegar a los 130 °C a los 22 segundos.

3.2. Resultados de las distancias de frenado

3.2.1. Sistema de freno ventilado

En este caso de las pruebas realizadas de distancia de frenado se obtuvieron los resultados de cada prueba realizada en el sistema de freno ventilado (A1) con las pastillas PPB y BP en sus diferentes designaciones obteniendo así distintas distancias en metros desde que el vehículo inicio el frenado hasta que se detuvo por completo.

Para empezar en el gráfico 13-3, se muestra el resultado un diagrama de barras el cual expresa las distancias de frenado recopiladas de cada prueba, en las cuales estaban en un rango entre 50,90 m y 57,45 m, esta última representa la mayor distancia de frenado aplicando las pastillas PPB-1.

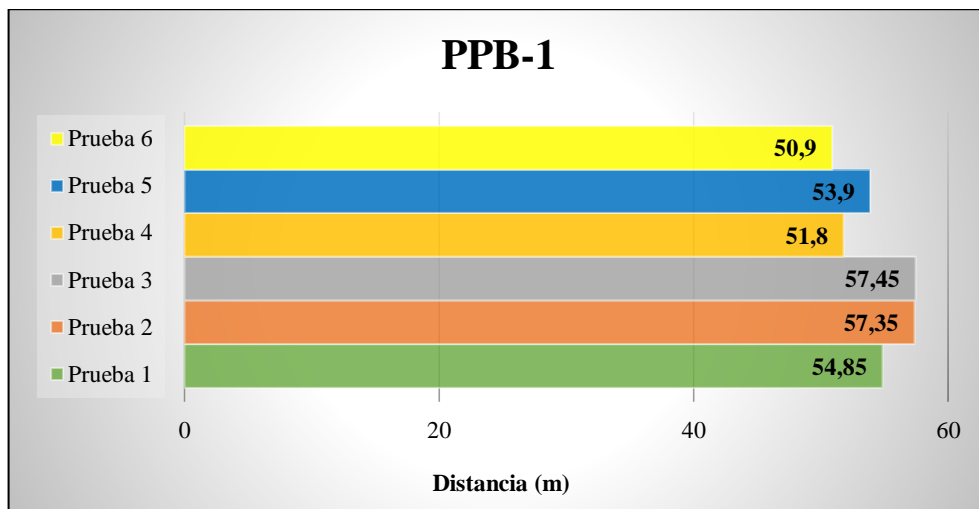


Gráfico 13-3: Distancias de frenado con PPB-1 en A1.

Realizado por: Puente C. 2021

Del mismo modo en el gráfico 14-3 se muestra como resultado las distancias de frenado recopiladas al aplicar las pastillas PPB-2 en el sistema de freno ventilado, obteniendo en este caso distancias entre 47,65 m siendo esta la menor distancia y 55,10 m la mayor distancia que se repite en tres pruebas de las seis realizadas.

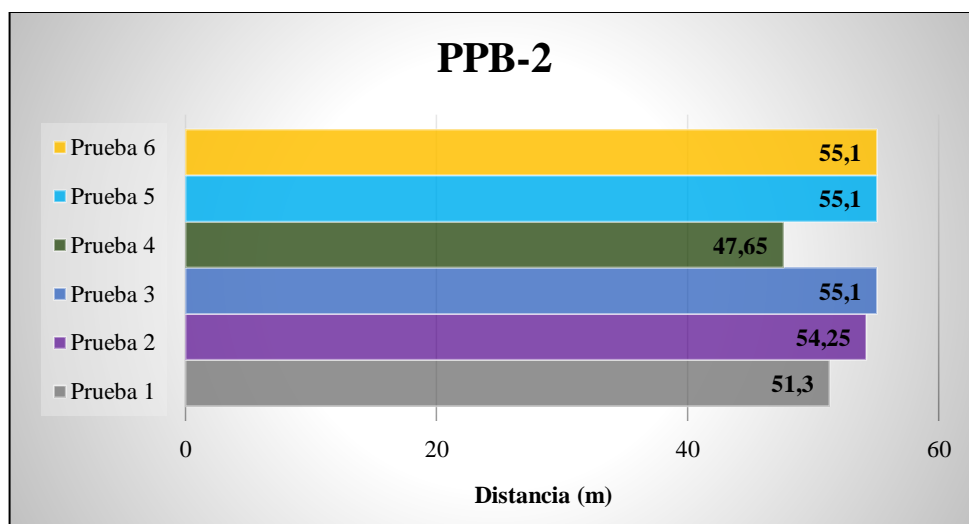


Gráfico 14-3: Distancias de frenado con PPB-2 en A1.

Realizado por: Puente C. 2021

Ahora bien, como resultado de aplicar las pastillas PPB-3 se obtuvo las siguientes distancias mostradas en el gráfico 15-3 que representa las pruebas realizadas donde la menor distancia obtenida es 44,9 m y la más alta fue 53,35 m.

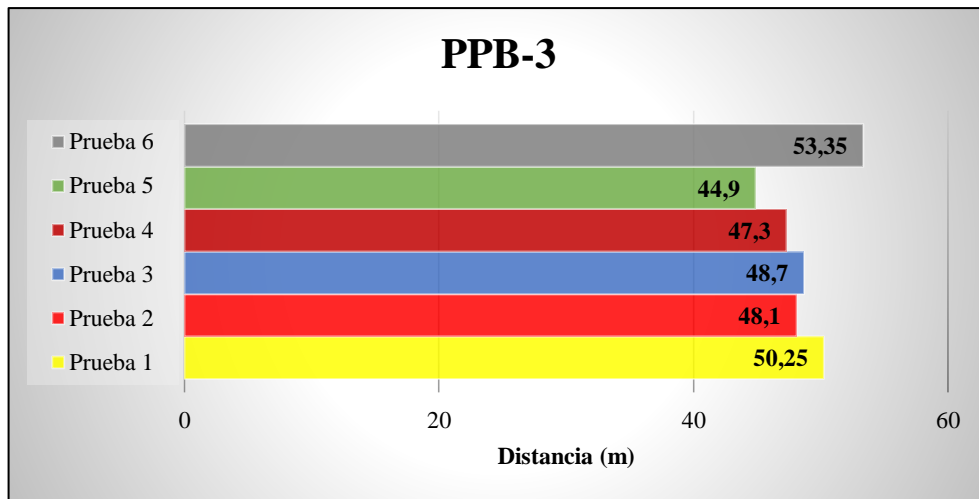


Gráfico 15-3: Distancias de frenado con PPB-3 en A1.

Realizado por: Puente C. 2021

De la misma forma, se obtuvo los resultados como consecuencia de la utilización de las pastillas BP en el sistema de freno A1, obteniendo de esta modalidad las distancias de frenado con las pastillas BP-1, como se puede observar en el gráfico 16-3 se muestra las distancias recopiladas en las diferentes pruebas de las cuales la menor distancia obtenida fue 51,50 m y la mayor distancia en este caso fue de 59,60 m

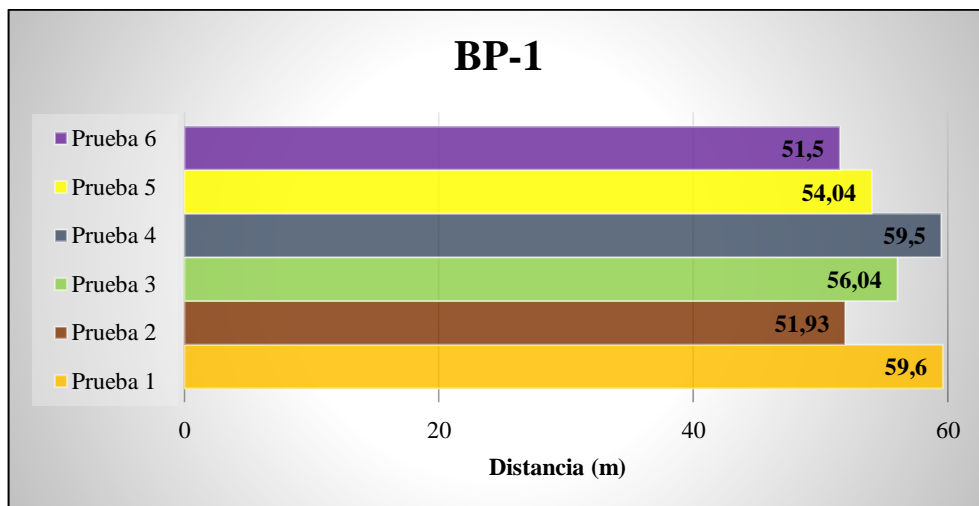


Gráfico 16-3: Distancias de frenado con BP-1 en A1.

Realizado por: Puente C. 2021

Como resultado de las pruebas llevadas a cabo con las pastillas BP-2, se recopilaron los datos de las distancias de frenado que se representan en el gráfico 17-3, obteniendo como distancia mínima de frenado 60,98 m y la mayor distancia de 67,78 m en este caso.

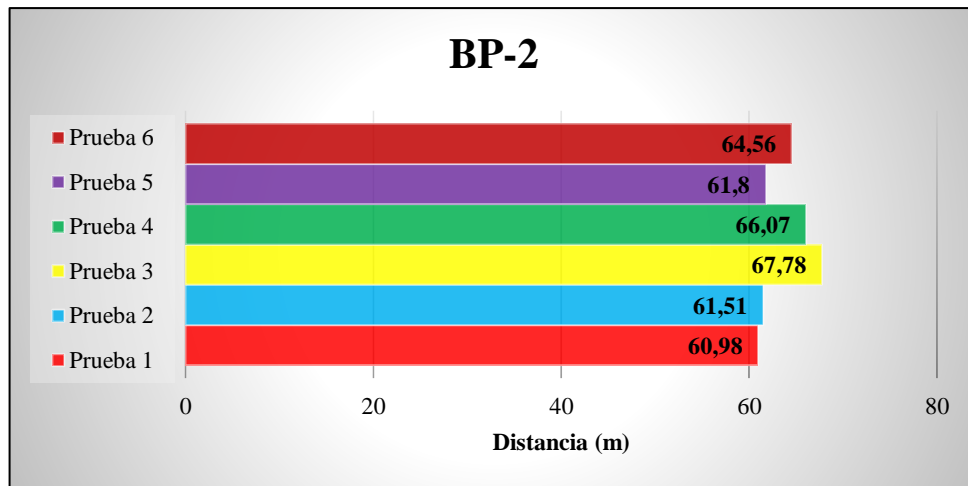


Gráfico 17-3: Distancias de frenado con BP-2 en A1.

Realizado por: Puente C. 2021

Finalmente, en el gráfico 18-3 se muestra las distancias obtenidas al realizar las repeticiones de frenadas con las balatas de freno BP-3, por lo que la distancia más corta obtenida es en la prueba 5 y la distancia con mayor frenada es en la prueba 2.

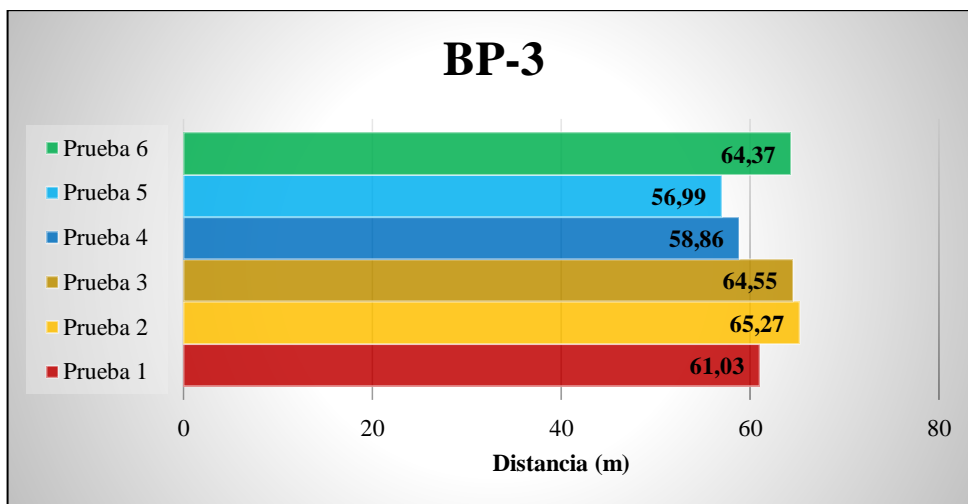


Gráfico 18-3: Distancias de frenado con BP-3 en A1.

Realizado por: Puente C. 2021

3.2.2. Sistema de freno hiperventilado

Del mismo modo, las pruebas realizadas de distancia de frenado se obtuvieron resultados de cada prueba realizada en el sistema de freno hiperventilado (A2) con las pastillas PPB y BP en sus diferentes designaciones obteniendo así distintas distancias en metros desde que el vehículo inicio el frenado hasta que se detuvo por completo.

Para empezar en el gráfico 19-3, se adjunta los datos recopilados de distancia de frenado con el sistema de frenado A2 y las pastillas PPB-1 donde se puede ver la distancia más corta de frenado se obtiene en la prueba 6 que es de 42,1 m y como la distancia más extensa se consiguió en las pruebas 1 y 4, donde los datos de distancia fueron 50,1 m y 50,3 m.

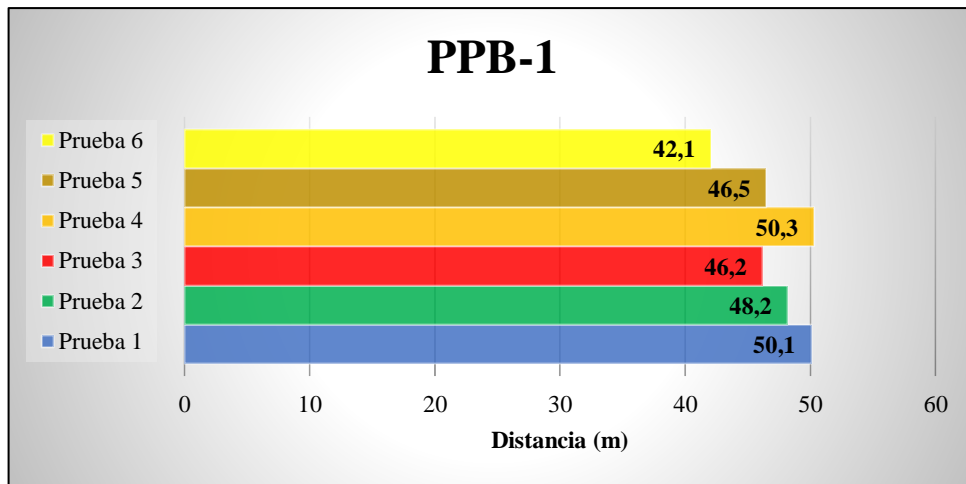


Gráfico 19-3: Distancias de frenado con PPB-1 en A2.

Realizado por: Puente C. 2021

También los resultados obtenidos con las pastillas PPB-2 aplicadas en distancias de frenado se muestran en el gráfico 20-3, donde se puede ver como en el test 2, se alcanza un intervalo de 40,40 m es decir la más corta y en la prueba 5 se obtuvo una distancia de 47,45 m esta ultima la más extensa de las pruebas realizadas.

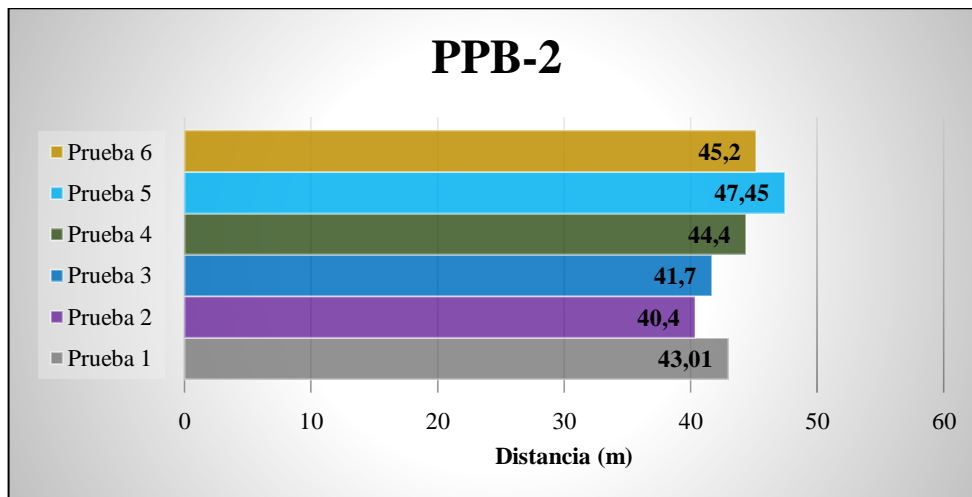


Gráfico 20-3: Distancias de frenado con PPB-2 en A2.

Realizado por: Puente C. 2021

Finalmente, en el gráfico 21-3, se muestra los datos obtenidos de las distancias de frenado obtenidas con las pastillas PPB-3, de este modo se puede ver que la mínima distancia es de 40,85 m obtenido en la prueba 2 y la máxima distancia de 45,2 m en la prueba 3.

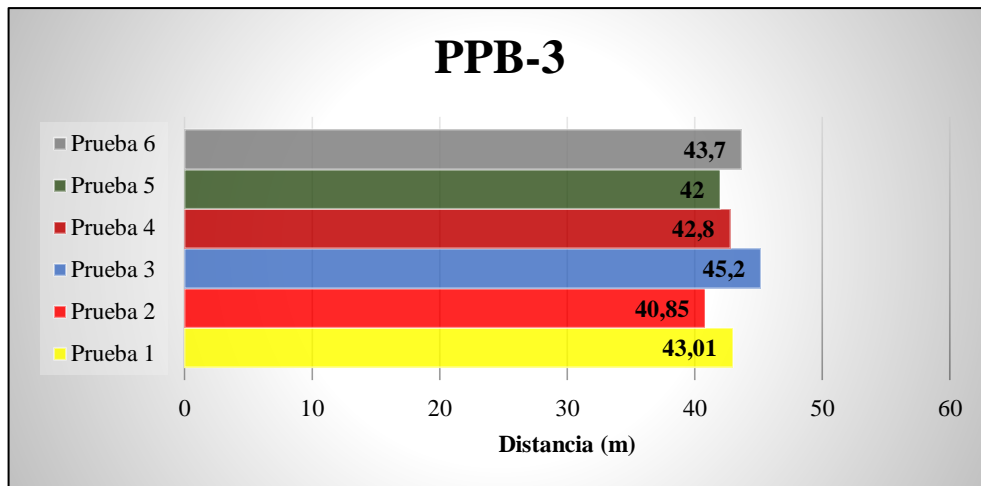


Gráfico 21-3: Distancias de frenado con PPB-2 en A2.

Realizado por: Puente C. 2021

Por consiguiente, se presenta en el gráfico 22-3, las distancias de frenado, pero en este caso con las balatas de freno PB-1 obteniendo así una distancia mínima de 52,25 m en la prueba 4 y la distancia máxima de 58,50 m en la prueba 2.

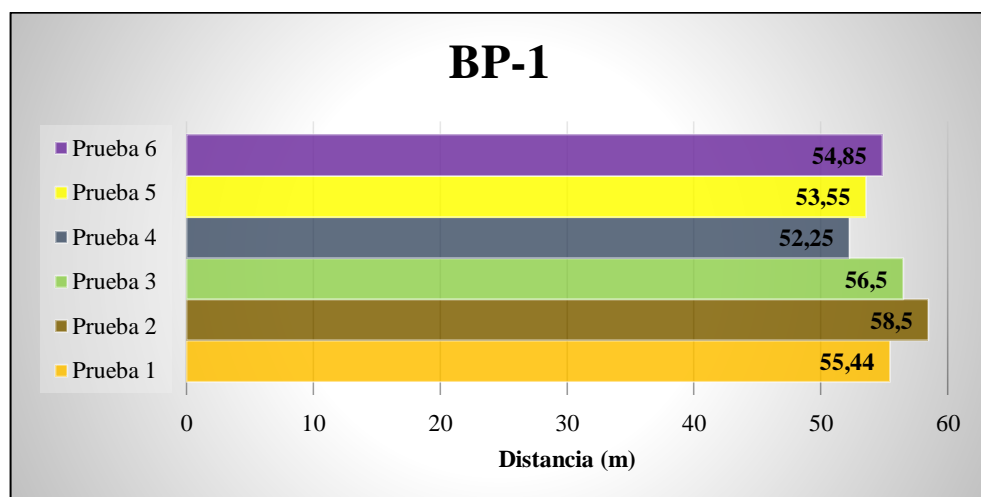


Gráfico 22-3: Distancias de frenado con BP-1 en A2.

Realizado por: Puente C. 2021

También en el gráfico 23-3 se presenta las distancias de frenado que se recopilaron como resultado de la prueba realizada en la cual en la prueba 5 se obtuvo la menor distancia en este caso de 53,42 m y del mismo modo en la prueba 1 se obtuvo la distancia máxima de 60,40 m.

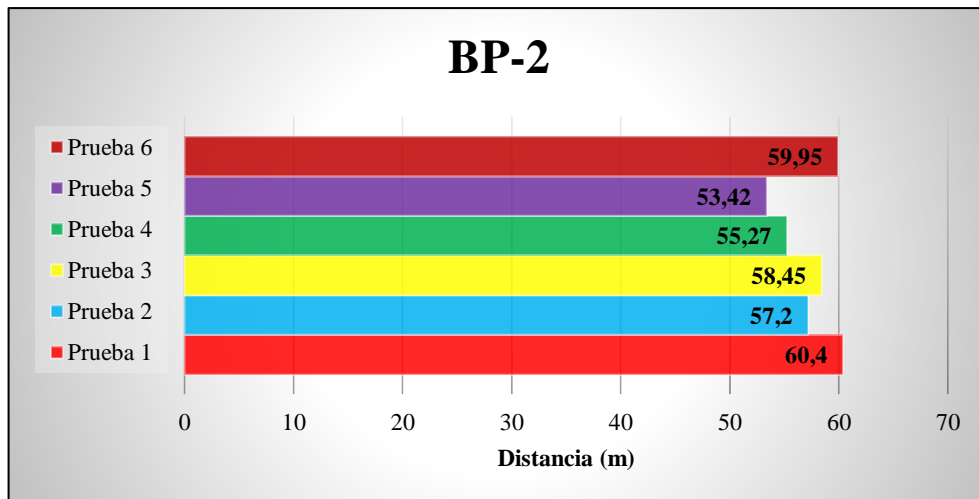


Gráfico 23-3: Distancias de frenado con BP-2 en A2.

Realizado por: Puente C. 2021

Finalmente, al aplicar las pruebas BP-3 se obtuvieron los intervalos de frenado con el sistema de freno A2 que se muestra en el gráfico 24-3, en donde la mayor distancia es de 58,89 m obtenida en la prueba 5, también la distancia mínima de 49,95 m en la prueba 1 respectivamente.

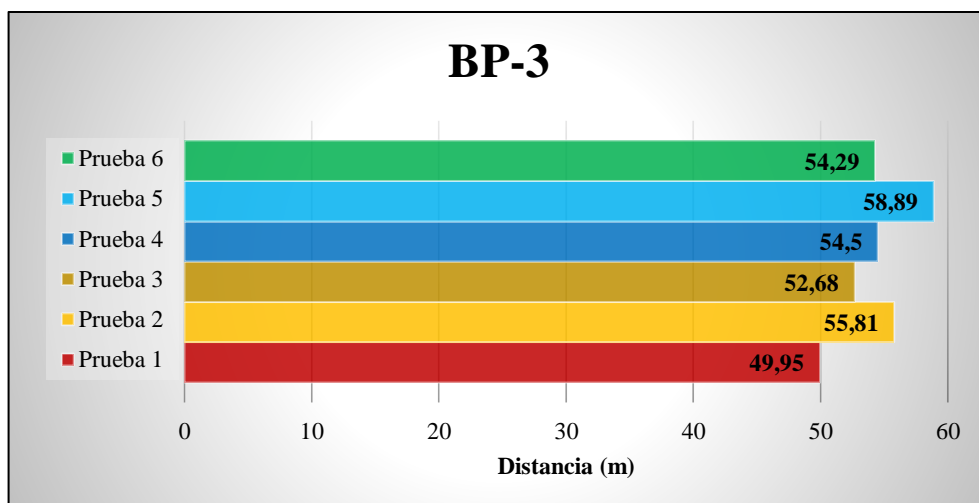


Gráfico 24-3: Distancias de frenado con BP-3 en A2.

Realizado por: Puente C. 2021

3.3. Discusión de resultados

Para efectuar la discusión de resultados se realizará un previo análisis estadístico de los datos presentados anteriormente mediante el uso de gráficas, se recurrió a los softwares Statgraphics y Excel para obtener datos más factibles de los resultados conseguidos de las pruebas llevadas a cabo en los sistemas de freno A1 y A2 con las pastillas de freno PPB y BP.

3.3.1. Comportamiento térmico

3.3.1.1. Comportamiento térmico del sistema de freno ventilado

Para empezar, en la tabla 1-3 se presenta el comportamiento térmico del sistema de freno ventilado (A1) con los datos obtenidos de las diferentes pastillas de freno aplicadas, asimismo

cabe recalcar que los datos presentados en la tabla, son el resultado de un análisis estadístico previo de las seis pruebas realizadas por cada tipo de pastillas de freno.

Tabla 1-3: Datos térmicos del sistema A1.

Tiempo (s)	PPB-1	PPB-2	PPB-3	BP-1	BP-2	BP-3
0	86,83	85,33	82,33	78,17	80,67	80,67
0,5	86,17	86	82	77,5	79,83	80,5
1	86,67	84,33	81,83	77,17	79	78,5
1,5	86,33	85	82	76	78,33	79,17
2	86,5	85,17	81,83	75,67	77,33	79
2,5	86	84,67	81,67	74,83	76,5	78,5
3	85,5	84	81,83	74,33	75,67	77,5
3,5	85,33	83,5	82,17	73,67	74	77,17
4	85	82,67	81,5	72,67	73,33	76,5
4,5	85	83,33	80,33	71,67	72,33	75,5
5	84,83	82,67	80,67	70,67	71,83	74,5
5,5	84,17	82,67	79,67	70	71,17	73,33
6	83,33	82,17	78,33	69,33	70,5	72,67
6,5	82	81,17	77,67	68,17	70	71,83
7	81,33	80	77,67	67,33	69	71,5
7,5	81,5	79,83	76,67	66,33	67,83	71
8	80,67	78,17	76,5	65,5	67,17	70,17
8,5	79,5	77,83	76	64,83	66,67	68,5
9	78,33	76,83	74,33	64,5	65,83	67,5
9,5	78,17	75,83	73,83	63,5	65	66,5
10	77,17	74,83	73,83	61,67	64,33	67,17
10,5	76,67	73,83	72,67	61,17	62,33	69,83
11	75,83	72,83	71,83	60,83	61	69,5
11,5	74,83	72,17	70,33	59,67	59,83	69,33
12	74,33	71,17	69,67	59	60,5	69,83
12,5	73,83	70,67	69,33	59,67	66,83	72,67
13	73	69,5	68,5	62,5	73,83	73,17
13,5	72	68,67	68,17	65,5	77,17	73
14	71,67	67,83	66,33	68	81	73,5
14,5	70,83	67,17	65,67	72,5	90,17	74,83
15	70,17	66,17	71,83	75,83	97	75,5
15,5	69,33	65,17	76,5	82	103,33	79
16	71,33	66,33	78,5	83,5	106,67	80,67
16,5	72,33	68,83	79,5	90,67	107,67	83,5
17	74,17	68,5	81,83	93,83	112,17	86,5
17,5	75,83	69,5	91,5	99,33	112,5	86,5
18	84,83	82,5	96,17	101,83	120	92,17
18,5	94,17	93,5	106,67	104,67	123,83	99,17
19	101	102	121,67	107	126,17	102,83
19,5	104,17	108	129	106,67	129,17	111,5
20	108,5	117,5	134,33	107	133,5	117,83
20,5	107,17	125,5	135,17	108	135,17	121,17
21	113,5	131	142	108,5	137,17	125,67
21,5	120	136,67	141,17	108,67	140,33	131
22	127,67	138,33	141,33	108,83	142,5	132,67

Realizado por: Puente, C. 2021.

Por otra parte, de los datos anteriormente detallados se expresan en el gráfico 25-3, donde se presentan las curvas del comportamiento térmico del sistema A1 y la utilización de las almohadillas de freno PPB y BP en sus diferentes designaciones.

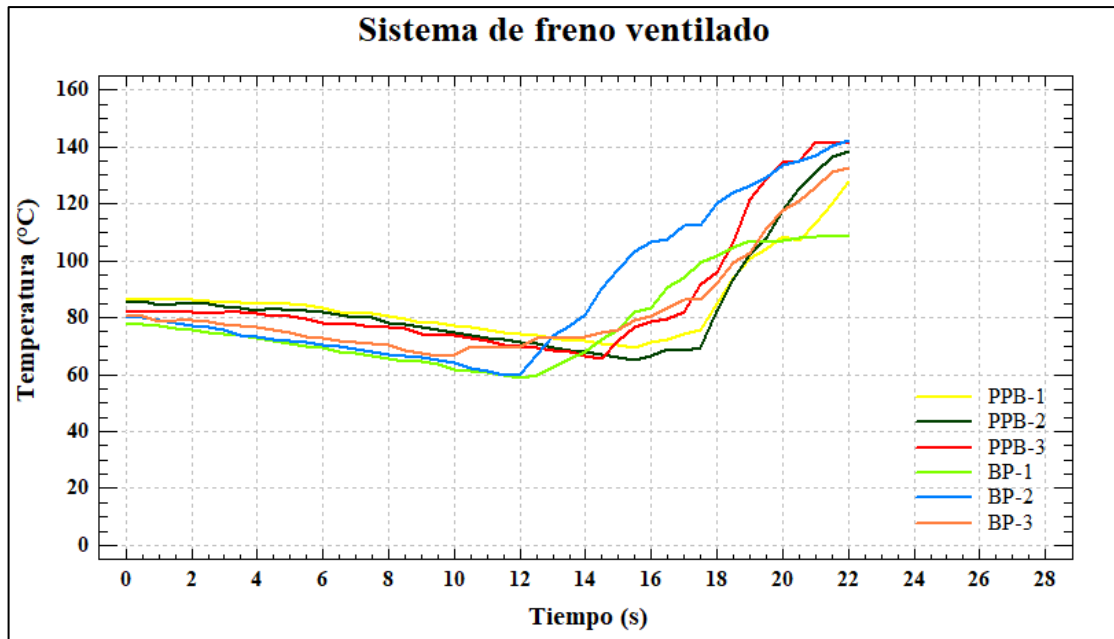


Gráfico 25-3: Curvas del comportamiento térmico - A1.

Realizado por: Puente C. 2021

3.3.1.2. Comportamiento térmico del sistema de freno hiperventilado

En la tabla 2-3, se presenta el comportamiento térmico del sistema de freno hiperventilado (A2) con los datos obtenidos en un lapso de tiempo determinado de las diferentes almohadillas de frenado aplicadas en dicho sistema de freno, cabe destacar que los datos presentados es el resultado de seis casos realizados con cada pastilla de freno.

Tabla 2-3: Datos térmicos del sistema A2.

Tiempo (s)	PPB-1	PPB-2	PPB-3	BP-1	BP-2	BP-3
0	79	84	76,5	80,5	80,67	82,67
0,5	79	84	76,17	77,67	80	81,67
1	78,5	83,67	75,83	77,33	78,67	80
1,5	78,67	83,17	74,83	77,17	77,67	79,67
2	78,33	83	74,17	77	77,33	78,33
2,5	77,67	82,83	73,67	76,17	77,17	78
3	78	82,67	72,33	75,5	76,33	76,83
3,5	77,67	82,5	71,33	75,17	74,67	75,33
4	76,5	82,17	70,67	73,33	74	74,67
4,5	76,33	82,17	70,83	71,83	73,17	74
5	75,83	81,83	69,33	71,67	71,33	72,67
5,5	75,67	81,17	68,83	70,17	70,5	71,83
6	75,67	81	68,17	69,17	69,33	71,17
6,5	73,5	80,17	67,5	68,83	68,17	69,83
7	73	79,5	67,17	67	67,67	68,83
7,5	72,33	79	66,83	66,5	66,5	68
8	72	78,33	66,17	65,17	65,83	67,17
8,5	71,17	77,83	65	64	64,67	66,5
9	71,67	76,67	63,83	64,17	63,83	65,67
9,5	70,17	76	63,17	63,17	62,67	64,67

10	70,5	75,33	62,5	61	62,17	63,5
10,5	69,33	74,67	62,33	60,67	61	62,5
11	68,67	74	62	59	60,33	62,5
11,5	68,83	73,33	61,5	58,33	59,33	63,33
12	67,83	72,83	60,83	61,83	58,17	62,17
12,5	66,67	71,67	61,33	63,17	57,5	64,67
13	66,33	71,33	62,5	63,67	57,17	67,17
13,5	66,17	70,83	63,83	67,83	56,67	69,5
14	65,17	70,67	64,17	70,83	55,83	70,83
14,5	64,83	70,17	67,83	73,33	60	73,83
15	64,5	69,17	70,67	81,5	61,33	79,67
15,5	63,5	68,5	71,67	83,83	61,17	82,33
16	62,83	68	73,17	86,5	63,5	85,5
16,5	62,33	69,33	75,67	90,5	68	87,83
17	66,83	74	97,17	94	73	93,17
17,5	76	79,33	102,33	101	82,83	98,5
18	85,67	83,67	107	102,5	89,67	101,67
18,5	92	86,83	117,67	106,67	97,83	106,17
19	98,67	90,33	125,67	111,83	101,67	110,33
19,5	105,67	93,17	131	111,17	110,67	115,33
20	120,17	101,67	131,33	110,5	123,33	116,17
20,5	120,5	109,83	131,5	114,83	126,83	119,5
21	121,83	114,33	132,67	119,83	128,67	119,67
21,5	123,83	119,33	133,17	120,17	134,5	121,33
22	123,83	124,33	133,17	125,5	134	123,33

Realizado por: Puente, C. 2021.

En el gráfico 26-3, se detalla las curvas características resultado de los datos expuestos en la tabla anterior, se trata de la conducta térmica del sistema de freno hiperventilado con el que se realizaron pruebas en las mismas condiciones del sistema presentado anteriormente.

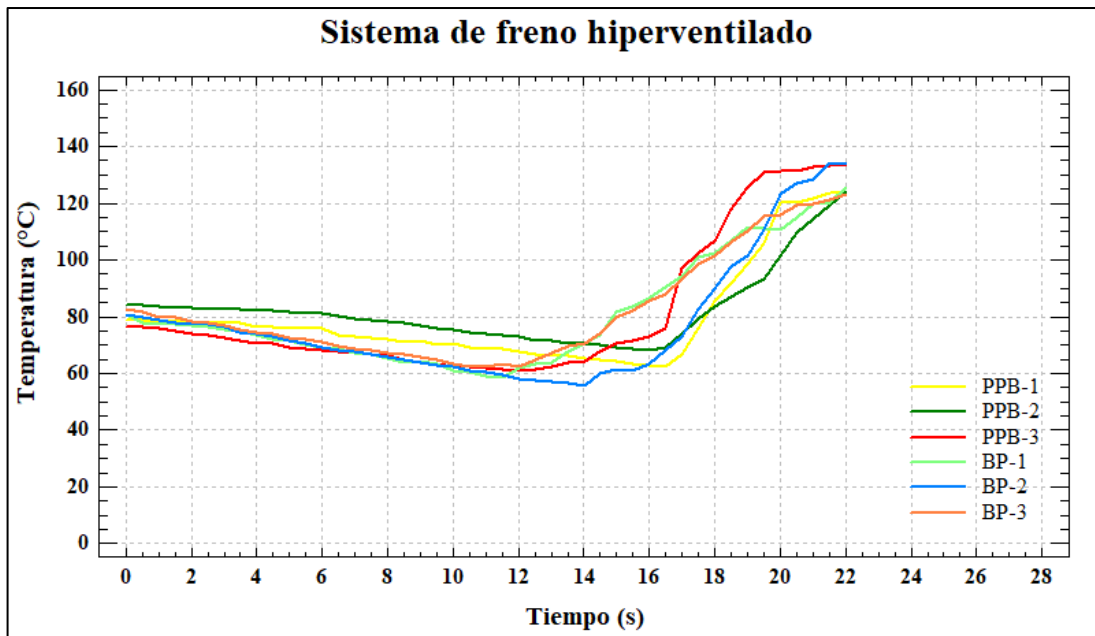


Gráfico 26-3: Curvas del comportamiento térmico - A2.

Realizado por: Puente C. 2021

A continuación, en la tabla 3-3 se detalla los tratamientos de los datos obteniendo los valores medios de todos los casos realizados y de este modo representar gráficamente el comportamiento térmico de los sistemas A1 Y A2, y también de las pastillas PPB y BP.

Tabla 3-3: Tratamiento de datos de los casos realizados.

Designación	Casos	Media	Grupos Homogéneos
A2BP-2	6	77,4522	X
A1BP-1	6	78,6373	X
A2PPB-1	6	79,4038	XX
A2BP-1	6	80,7002	XXX
A2PPB-3	6	81,4447	XXX
A2BP-3	6	81,9558	XXX
A2PPB-2	6	82,1851	XXX
A1BP-3	6	82,8671	XXX
A1PPB-2	6	84,2076	XXX
A1PPB-1	6	84,6109	XXX
A1PPB-3	6	86,9407	XX
A1BP-2	6	88,3591	X

Realizado por: Puente, C, 2021.

Paralelamente en el gráfico 27-3, se representa los valores de la tabla anterior del tratamiento de datos de todos los casos realizados, en los dos sistemas de freno mediante la utilización de las almohadillas de freno seleccionadas, demostrando así los valores térmicos máximos, medios y mínimos.

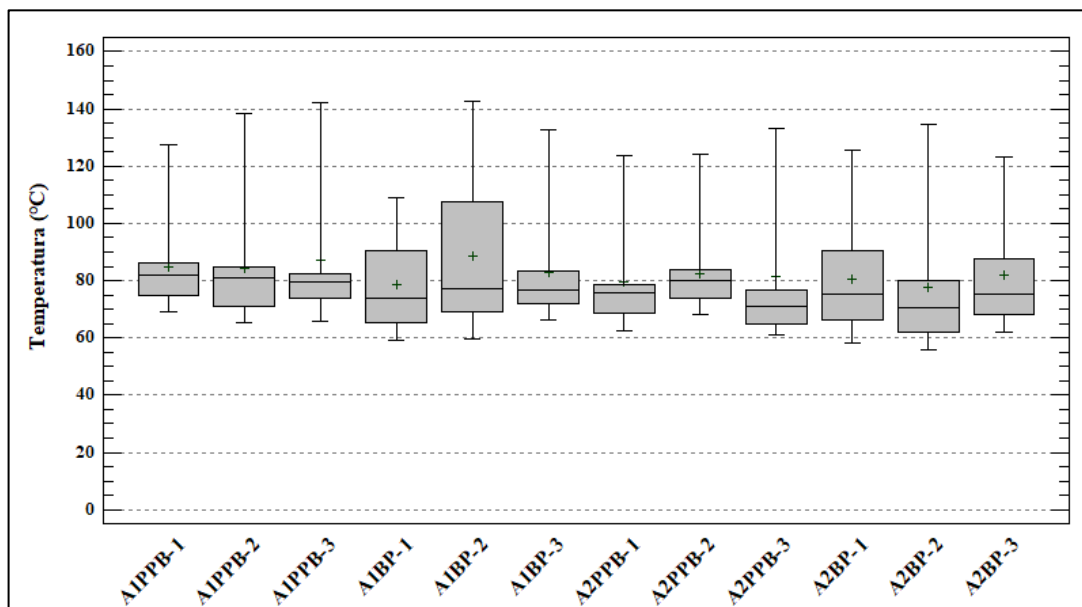


Gráfico 27-3: Comparativa del comportamiento térmico de las pastillas de freno en los dos sistemas de frenado.

Realizado por: Puente C. 2021

En el gráfico anterior se visibilizó la conducta térmica de cada pastilla de freno utilizada en los sistemas de freno puesto a prueba, de este modo se muestra los valores máximos y mínimos

térmicos, así como los valores medios. En el sistema A1 las pastillas de freno PPB presentaron un incremento térmico más elevado, al contrario de lo sucedido con las pastillas de freno BP, las cuales se mantienen ligeramente por debajo, es decir ayudar de mejor manera con la disipación térmica. Así mismo en el sistema A2, las pastillas de freno PPB y BP mantiene un comportamiento térmico similar.

3.3.1.3. Comparativa entre los sistemas de freno

Finalmente, para detallar de una mejor manera los resultados obtenidos se analizó una comparativa general entre los dos sistemas de frenos es decir A1 y A2, así como las pastillas de freno PPB y BP, obteniendo la tabla 4-3, en la cual se especifica que el número de casos para este apartado es de 18 debido a que es el análisis del compilado de todos los datos obtenidos del comportamiento térmico.

Tabla 4-3: Tratamiento de casos generales.

Designación	Casos	Media	Grupos Homogéneos
A2-BP	18	78,3333	X
A2-PPB	18	80,8	X
A1-BP	18	82,6889	X
A1-PPB	18	85,6444	X

Realizado por: Puente, C, 2021.

Del análisis respectivo realizado se obtuvo el gráfico 28-3 donde se puede evidenciar de mejor manera cómo se comporta cada pastilla de freno y sistema de freno trabajado. De este modo verificar que sistema tiene un mejor comportamiento térmico.

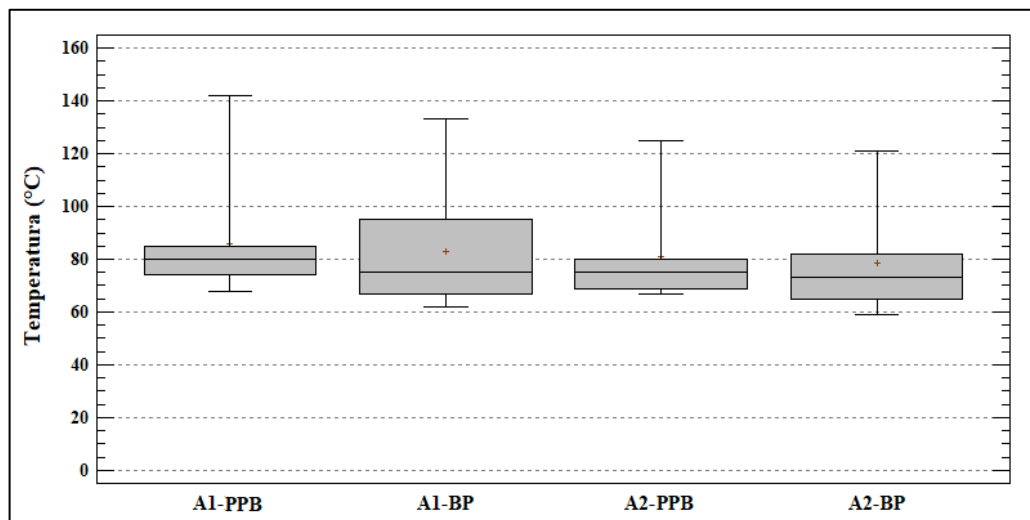


Gráfico 28-3: Comparativa general del comportamiento térmico entre los sistemas de freno y pastillas de freno.

Realizado por: Puente C. 2021

3.3.2. Distancia de frenado

3.3.2.1. Distancia de frenado comparando cada caso

Por otra parte, en la tabla 5-3, se muestra el resultado del análisis estadístico en cuanto a distancia de frenado al haber llevado a cabo varias iteraciones de la prueba, en la cual muestra el número de casos que se realizaron por cada sistema y pastilla de freno bajo cada designación, también obteniendo la media de las pruebas concretadas, así como los grupos homogéneos que permiten analizar la tendencia que tienen los datos basándose en los valores de las medias obtenidas.

Tabla 5-3: Tratamiento de casos de distancia de frenado.

Designación	Casos	Media	Grupos Homogéneos
A2PPB-3	6	42,78	X
A2PPB-2	6	43,69	XX
A2PPB-1	6	47,30	XX
A1PPB-3	6	48,77	XX
A1PPB-2	6	53,08	XX
A1PPB-1	6	54,38	XX
A2BP-1	6	55,18	XX
A1BP-1	6	55,44	X
A2BP-2	6	56,34	X
A2BP-3	6	57,45	X
A1BP-3	6	61,85	X
A1BP-2	6	63,78	X

Realizado por: Puente, C. 2021.

Como se muestra en el gráfico 29-3, es el resultado del análisis estadístico realizado en la tabla 5-3 obteniendo así las medias de las pruebas realizadas con cada pastilla de freno (PPB y BP) y los sistemas de freno (A1 y A2)

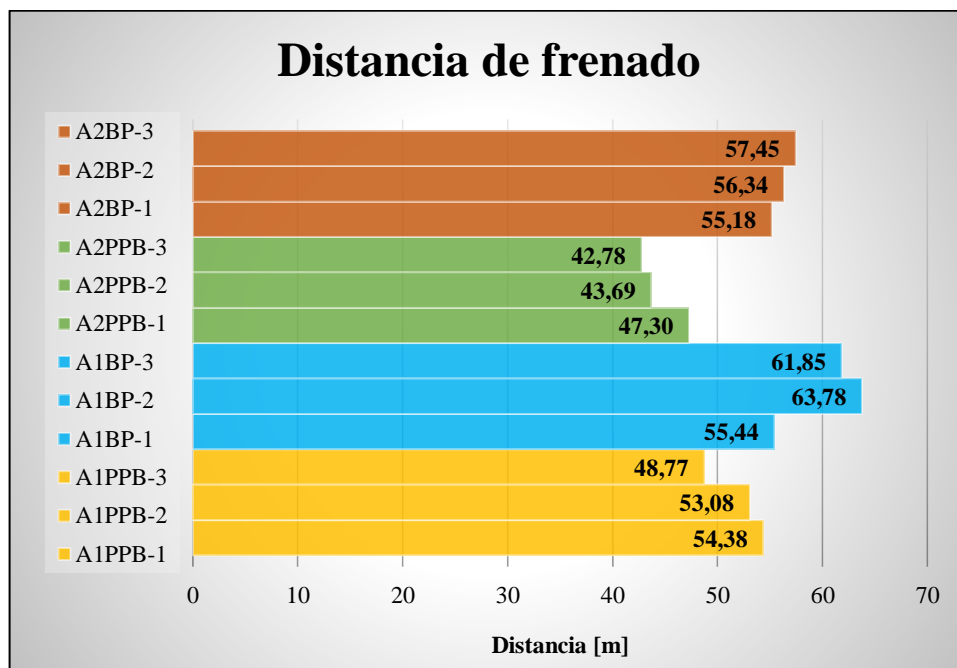


Gráfico 29-3: Distancia de frenado resultado del tratamiento de los casos.

Realizado por: Puente C. 2021

Ahora bien, del gráfico mostrado se puede resaltar que al haber puesto a prueba las pastillas de freno PPB y BP en el sistema de freno A1 las distancias de freno son extensamente más grandes a comparación de situar a prueba las mismas pastillas de freno, sin embargo en el sistema de freno A2 donde se verifica una reducción conveniente en las distancias llevadas a cabo.

3.3.2.2. Comparativa de la distancia de freno entre los sistemas de frenado

En otro orden de ideas al haber realizado el análisis de datos generales del compilado general obtenido al haber realizado las pruebas con los dos sistemas de freno y las pastillas de freno, también en la tabla 6-3 se precisa como resultado del análisis estadístico realizado para expresar una comparativa general de todos los datos presentados en el apartado anterior con el fin de poder obtener una buena discusión de resultados respecto a lo realizado.

Tabla 6-3: Tratamiento de casos generales.

Designación	Casos	Resultado	Grupos Homogéneos
A2-PPB	18	44,59	X
A1-PPB	18	52,0767	X
A2-BP	18	56,3233	XX
A1-BP	18	60,3567	X

Realizado por: Puente, C, 2021.

En este caso en el gráfico 30-3 se muestra el comportamiento total de los sistemas A1 y A2 al poner en funcionamiento las pastillas PPB y BP, siendo el resultado del análisis estadístico realizado del compilado de datos obtenidos de distancias de frenado presentados en lo descrito anteriormente.

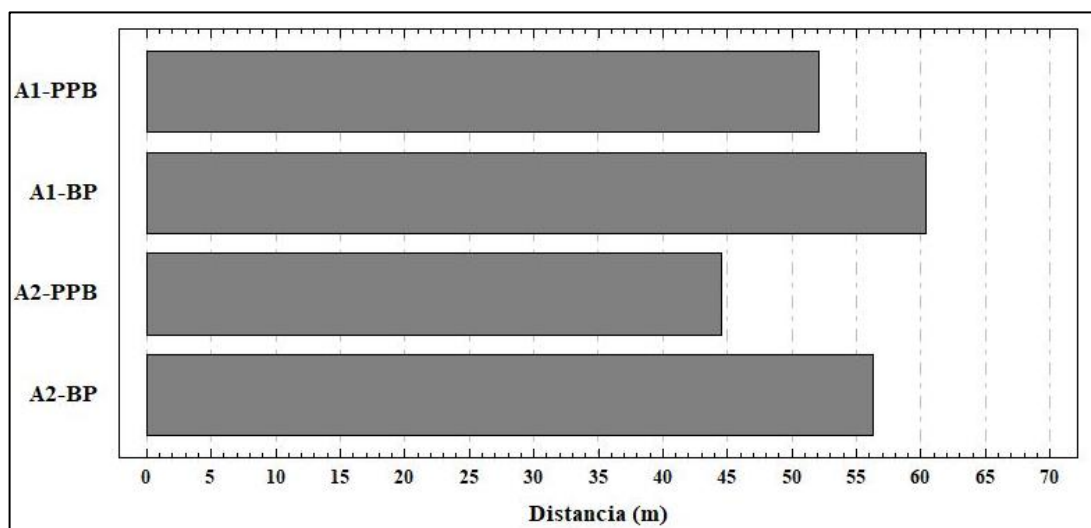


Gráfico 30-3: Intervalos de frenado de las pastillas de freno PPB Y BP en A1 y A2.

Realizado por: Puente C. 2021

Al final, en el gráfico presentado se puede resaltar como en el sistema de frenado A1 tiene más grandes distancias al haber puesto a prueba las pastillas de freno PPB y BP, sin embargo para el sistema de freno A2 se puede ver como disminuye de manera significativa las distancias de frenado al ejercer las pastillas de freno PPB y BP.

3.4. Discusión de los resultados

Al haber realizado todas las pruebas pertinentes y las repeticiones en cada caso, se tiene como resultado que al emplear el sistema de freno ventilado en el vehículo con las pastillas de freno PPB presentan un comportamiento térmico más prominente que las pastillas de freno BP, ya que estas últimas ayudan a disipar el calor producido en el sistema, provocando que se incremente drásticamente la temperatura, de igual modo al haber aplicado las pastillas de freno en esta situación en el sistema de freno hiperventilado, se ve una enorme diferencia en la conducta térmica del sistema disminuyendo en cierta forma ya que las perforaciones en el disco ayudan a disipar de mejor forma el calor producido por el sistema al frenar.

Por otro lado, al referirnos a las distancias de frenado se ha podido evidenciar como con el sistema de freno ventilado al utilizar las pastillas de freno BP el transporte recorría más grande distancia de frenado que con las pastillas PPB, empero al haber puesto a prueba el sistema de freno hiperventilado se observó una buena diferencia en distancias de frenado tanto con las pastillas BP y PPB estas últimas brindando mejor estabilidad de frenado disminuyendo radicalmente la distancia de frenado a comparación de las anteriores.

Además, se puede resaltar como mejor elección de pastillas de freno para el sistema de freno hiperventilado en esta situación resulto ser las PPB con un precio bastante accesible poseen mejor comportamiento térmico y en distancias de frenado reducidas. Aun cuando las pastillas de freno BP de precio medio colaboraron a disipar la temperatura levemente por abajo de las pastillas PPB, tendieron a sobrecalentarse inmediatamente lo cual produjo que se cristalicen ocasionando que las distancias de frenado sean más grandes.

Finalmente, al terminar el análisis se puede resaltar como el sistema de freno hiperventilado ofrece mejor comportamiento térmico como en distancias de frenado, lo cual es esencial al conducir un automotor ayudando en esta manera a tener mayor seguridad una vez que se circula con el transporte y asimismo a minimizar accidentes de tránsito que tienen la posibilidad de ser ocasionados por fallas de sobrecalentamiento y perdidas de efectividad de frenado.

CONCLUSIONES

- Se realizó la recopilación pertinente de información sobre el comportamiento térmico de los dos sistemas de freno, mediante la revisión en artículos científicos y trabajos de investigación más actuales, permitiendo ampliar una base de investigación para la posterior realización experimental del estudio del comportamiento térmico del sistema de freno ventilado como hiperventilado poniendo a prueba las diferentes pastillas de freno.
- Se implementó en el sistema de freno los sensores infrarrojos debido a que son más resistentes y costo de adquisición razonable a diferencia de otras alternativas de sensores, de este modo se instalaron en la superficie de fricción más cercana entre el disco de freno y las pastillas lo que permitió monitorear de manera eficaz el comportamiento térmico en el sistema de freno con los diferentes tipos de discos de freno y pastillas de freno seleccionadas para el estudio, por tanto los sensores infrarrojos fueron una excelente opción para realizar este estudio debido a la facilidad para obtener los datos de estudio.
- Se consiguió obtener los datos del comportamiento térmico en el sistema de frenado hiperventilado probando las pastillas de freno seleccionados, dichos datos analizaron estadísticamente mediante softwares a la par de los datos obtenidos en el sistema de freno ventilado original, de este modo se pudo verificar como el sistema de freno hiperventilado presenta un mejor comportamiento con las pastillas de freno PPB a diferencia que el sistema de freno original del automóvil.
- El estudio realizado en la presente investigación demostró como el sistema de freno hiperventilado tiene mejores prestaciones en comportamiento térmico y distancia de frenado con las pastillas de freno PPB, a comparación del sistema de freno ventilado el cual con los dos tipos de pastillas de freno (PPB y BP) presento un rendimiento por debajo que el hiperventilado.
- En relación a lo expuesto, los datos obtenidos en las pruebas realizadas con los dos sistemas de freno y las pastillas de freno seleccionadas, se mostró mediante gráficas con curvas características la comparativa del comportamiento térmico. Obteniendo en el sistema de freno hiperventilado una considerable disminución en el comportamiento térmico con valores máximos de temperatura de 125 °C con las pastillas de freno PPB y 121 °C con las pastillas de freno BP, a diferencia del sistema de freno ventilado que genero valores más elevados de temperatura.

- Al realizar la prueba de distancia de frenado el sistema de freno ventilado el cual es original en el vehículo se comportó menos eficaz con distancias entre 52,08 y 60,36 metros. Por otra parte, con el sistema de freno hiperventilado se redujo significativamente las distancias de frenado con valores entre 44,59 y 56,32 metros, con las pastillas de freno de estudio lo cual genero una sensación de seguridad al frenar al conducir a una velocidad de 100 km/h.
- La implementación del sistema de freno hiperventilado se lo realiza de una manera fácil, rápida y poco invasiva en los elementos del sistema de freno, dirección y suspensión; así como en su funcionamiento no genera ruidos y brinda una mejor sensación al frenar lo que se convierte en mayor seguridad a comparación del sistema original del vehículo, su mantenimiento es igual al sistema de freno ventilado ya que comparten las mismas piezas, como pastillas de freno sin generar necesidad de modificaciones en los elementos del sistema. En cuanto al costo de la implementación es de \$100 con las pastillas de freno incluidas.

RECOMENDACIONES

- Realizar una ampliación de la investigación, comparando los datos de la investigación con el comportamiento térmico de las pastillas originales del vehículo de prueba, para verificar si existe una variación significativa o se comporta de manera similar.
- Los componentes electrónicos utilizados para la recopilación de datos del comportamiento térmico deben tener la mayor precisión factible por lo cual se recomienda el uso de los sensores infrarrojos ya que de esto depende que tan precisos pueden ser los datos obtenidos. Así mismo también se puede hacer uso de termocuplas o sensores laser para mejorar la precisión en la recopilación de datos.
- Los sistemas de freno hiperventilados como el descrito en esta investigación son levemente usado por los conductores, por eso se recomienda utilizar este sistema de freno con las pastillas de freno adecuadas ya que ayuda a salvaguardar la vida de los ocupantes del vehículo mucho más que con el sistema de freno ventilado que es el más común en los vehículos del país.

BIBLIOGRAFÍA

- AFZAL, A. y ABDUL MUJEEBU, M., Thermo-Mechanical and Structural Performances of Automobile Disc Brakes: A Review of Numerical and Experimental Studies. *Archives of Computational Methods in Engineering* [en línea], 2019. vol. 26, no. 5, pp. 1489-1513. ISSN 18861784. DOI 10.1007/s11831-018-9279-y. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11831-018-9279-y>.
- AGUNSOYE, J.O., BELLO, S.A., BAMIGBAIYE, A., ODUNMOSU, K.A. y AKINBOYE, I., Recycled ceramic tile composite for automobile applications, a comparative study with nissan jeep cherokee brake pad. *Engineering and Applied Science Research*, 2018. vol. 45, no. 3, pp. 180-187. ISSN 25396218. DOI 10.14456/easr.2018.30.
- ALES, M., Ceramic Vs. Semi-Metallic Brake Pads. *Medium* [en línea], 2020. [Consulta: 22 noviembre 2020]. Disponible en: <https://medium.com/@autorepairguruwriter/ceramic-vs-semi-metallic-brake-pads-e98b98032f6c>.
- ALONSO PÉREZ, J.M., *Técnicas del automóvil- Chasis*. 2010. 8va Edición. Madrid: Paraninfo.
- ANT., Estadísticas sobre Siniestros de Tránsito - Agencia Nacional de Tránsito del Ecuador - ANT. [en línea], 2020. [Consulta: 7 noviembre 2020]. Disponible en: <https://www.ant.gob.ec/index.php/estadisticas>.
- ANTONYRAJ, I.J. y SINGARAVELU, D.L., Tribological characterization of various solid lubricants based copper-free brake friction materials-A comprehensive study. *Materials Today: Proceedings* [en línea], 2019. vol. 27, pp. 2650-2656. ISSN 22147853. DOI 10.1016/j.matpr.2019.11.088. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.11.088>.
- BELHOCINE, A. y AFZAL, A., FEA Analysis of coupled thermo-mechanical response of grey cast iron material used in brake discs. *Revista científica*, 2019. vol. 3, no. 36, pp. 280-296. ISSN 0124-2253. DOI 10.14483/23448350.14827.
- BENHASSINE, N., HAIHAHEM, A. y BOU-SAID, B., A comparative study of the transient thermomechanical behavior of friction of the ceramic brake discs: Temperature field effect. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 2019. vol. 33, no. 1, pp. 233-240. ISSN 1738494X. DOI 10.1007/s12206-018-1223-4.
- BERNARD, S.S. y JAYAKUMARI, L.S., Pressure and temperature sensitivity analysis of palm fiber as a biobased reinforcement material in brake pad. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 2018. vol. 40, no. 3, pp. 1-12. ISSN 18063691. DOI 10.1007/s40430-018-1081-0.

- BORJA, J., FENOLL, J. y SECO, J., *Sistemas de Transmisión y Frenado*. *Macmillan Iberia*, 2009. pp. 169.
- BRAKE PAK., Características - Racing+Carbon Fiber. [en línea], 2020. [Consulta: 11 enero 2021].
Disponible en: <https://brakepak.ec/content/17-racingcarbon-fiber>.
- CHARAN, S., Evolution of automotive brake material. [en línea], 2020. S.l.: Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/342329789_Evolution_of_automotive_brake_material.
- DOMÍNGUEZ, E. y FERRER, J., *Sistemas de transmisión y frenado*. 2012. S.l.: s.n. ISBN 8491614214, 9788491614210.
- GARCÍA-LEÓN, R.A., Thermal study in three vented brake discs, using the finite element analysis. *Dyna*, 2017. vol. 84, no. 200, pp. 19-27. ISSN 0012-7353. DOI 10.15446/dyna.v84n200.55663.
- GARCÍA-LEÓN, R.A., ACEVEDO PEÑALOZA, C.H. y RODRIGUEZ CASTILLA, M.M., Análisis del caudal de aire en un disco de freno automotriz con alabes de ventilación tipo N-38. *Scientia et Technica*, 2019. vol. 24, no. 3, pp. 385-389. ISSN 0122-1701. DOI 10.22517/23447214.17781.
- HAN, S., A Study on the Thermal Behaviors of Disk Brake and Pad by Friction Heat. *Journal of The Korean Chemical Society*, 2019. vol. 10, no. 12, pp. 287-292. ISSN 1017-2548. DOI 10.15207/JKCS.2019.10.12.287.
- HONG, Y., JUNG, T. y CHO, C., EFFECT OF HEAT TREATMENT ON CRACK PROPAGATION AND PERFORMANCE OF DISK BRAKE WITH CROSS DRILLED HOLES. *International Journal of Automotive Technology*, 2019. vol. 20, no. 2, pp. 177-185. ISSN 1229-9138. DOI 10.1007/s12239-019-0017-8.
- IBHADODE, A.O.A. y DAGWA, I.M., Development of asbestos-free friction lining material from palm kernel shell. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 2008. vol. 30, no. 2, pp. 166-173. ISSN 18063691. DOI 10.1590/S1678-58782008000200010.
- JUNG, T., CHA, B., HONG, Yunhwa, KIM, C., HONG, Younghoon y CHO, C., An Experimental Study for Machined Patterns of Friction Surface on Disc Brake Rotor in Performance Aspect. *KSAE*, 2016. vol. 24, no. July, pp. 471-479. DOI 10.7467/KSAE.2016.24.4.471.
- LAMJAHDY, A. y MARKERT, B., Thermomechanical measurement of a brake disc. *Pamm*,

2017. vol. 17, no. 1, pp. 327-328. ISSN 1617-7061. DOI 10.1002/pamm.201710133.

LUCAS, R., PINTO, M., CARLOS, J., GUTIÉRREZ, H., MENEZES, R.C., CARLOS, J., RUBIO, C., FARIA, P.E., FEDERAL, U., GERAIS, D.M., ANTÔNIO, A. y HORIZONTE, B., Comparative analysis of the thermal effect and wear suffered by a disc brake friction material subjected to Krauss bench tests with engine power variations and operating conditions. *Revista Matéria*, 2020. vol. 25, pp. 1-11. DOI <https://doi.org/10.1590/s1517-707620200003.1109>.

MARTÍNEZ GÓMEZ, J., CHÉRREZ TROYA, M., LLANES CEDEÑO, E.A. y PERALTA ZURITA, D., Métodos multicriterio aplicados en la selección de un material para discos de freno. *Ingenius*, 2018. no. 20, pp. 83-95. ISSN 1390-650X. DOI 10.17163/ings.n20.2018.08.

MELCHER, A., Ceramic vs Semi Metallic Brake Pads. *Auto Anything* [en línea], 2020. [Consulta: 22 noviembre 2020]. Disponible en: <https://www.autoanything.com/resources/what-are-the-best-brake-pads-ceramic-or-semi-metallic/>.

MÉNDEZ, P. y MUÑOZ, W., DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN EN UN SISTEMA DE MEDICIÓN DE TEMPERATURA DE FRENOS DE DISCO A BORDO EN UN VEHÍCULO, 2017. pp. 54-76.

MEZQUITA, J. y RUÍZ, J., TRATADO SOBRE AUTOMÓVILES. TOMO I Y II. *ALFAOMEGA*, 2004. Disponible en: https://books.google.com.ec/books?id=tvULHOOUVsoC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false.

MINITAB., ¿Qué es ANOVA?, 2020. Disponible en: <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/19/help-and-how-to/statistical-modeling/anova/supporting-topics/basics/what-is-anova/>.

NAVEED, N. y ALFADHI, M., Design and Analysis of a Disc Brake Rotor for Optimal Performance in Racing. *World Journal of Modelling and Simulation*, 2019. vol. 15, no. 3, pp. 187-200.

PROFESSOR BRAKE PARTS., Features Brake Parts. [en línea], 2010. [Consulta: 23 diciembre 2020]. Disponible en: <http://www.professorbrake.com/BrakePads.asp>.

ROCHA-HOYOS, J.C., LLANES-CEDEÑO, E.A., CELI-ORTEGA, S.F. y PERALTA-ZURITA, D.C., Effect of the addition of biodiesel on the performance and opacity of a diesel engine. *Informacion Tecnologica*, 2019. vol. 30, no. 3, pp. 137-146. ISSN 07180764. DOI 10.4067/S0718-07642019000300137.

- RODRÍGUEZ GARCÍA, N.J. y NIETO SÁNCHEZ, I.C., Consideraciones para el diseño de un sistema diagnóstico de frenos de disco en un vehículo particular. *AVANCES Investigación en Ingeniería*, 2017. vol. 14, pp. 76-94. ISSN 1794-4953. DOI 10.18041/1794-4953/avances.1.1286.
- SAE., SAE Mobilus - SAE J866 Standard. [en línea] , 2019. [Consulta: 7 noviembre 2020].
Disponibile en: <https://www.sae.org/>.
- SENAE., Importaciones – Servicio Nacional de Aduana del Ecuador. [en línea] , 2020.
[Consulta: 1 diciembre 2020]. Disponible en:
<https://www.aduana.gob.ec/importaciones/>.
- TOMA, S., Brake Pads: Organic, Ceramic, And Semi-Metallic - What Are The Differences - autoevolution. [en línea] , 2016. [Consulta: 22 noviembre 2020]. Disponible en:
<https://www.autoevolution.com/news/brake-pads-organic-ceramic-and-semi-metallic-what-are-the-differences-112665.html>.
- TOMITA, J., LIU, F. y LEROUX, P., Brake Pad Temperature Tribology Evaluation Brake Pad Temperature Tribology Evaluation. , 2018. pp. 1-4.
- WEI, L., CHOY, Y.S. y CHEUNG, C.S., A study of brake contact pairs under different friction conditions with respect to characteristics of brake pad surfaces. *Tribology International*, 2019. vol. 138, pp. 99-110. ISSN 0301679X. DOI 10.1016/j.triboint.2019.05.016.
- YAN, H., FENG, S., WU, W.T., LU, T.J. y XIE, G., Experimental study of convective heat transfer in standard and cross-drilled brake discs with radial vane and X-lattice cores. *ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition, Proceedings (IMECE)*, 2018. vol. 8B-2018, pp. 1-9. DOI 10.1115/imece2018-86195.
- ZHAN, J., FARD, M. y JAZAR, R., A CAD-FEM-QSA integration technique for determining the time-varying meshing stiffness of gear pairs. *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, 2017. vol. 100, pp. 139-149. ISSN 02632241. DOI 10.1016/j.measurement.2016.12.056.
- ZUO, S., ZHANG, Y. y KONG, Q., Analysis of Transient Temperature Field of Automobile Ventilated Disc Brake. *International Journal of New Developments in Engineering and Society*, 2017. vol. 1, no. 1, pp. 85-88.

ANEXOS

ANEXO A: Código de programación en Arduino para sensores infrarrojos.

```
#include <Wire.h>
#include <SPI.h>
#include <SD.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <SoftwareSerial.h>
#define I2C_ADDR 0x27
#include <Adafruit_MLX90614.h>
Adafruit_MLX90614 mlx = Adafruit_MLX90614();
SoftwareSerial mySerial(7, 8); // RX, TX
LiquidCrystal_I2C lcd(I2C_ADDR,2, 1, 0, 4, 5, 6, 7);
const int chipSelect = 4;
String INFO="",COM="";
String ambiente,sobjeto;
float ambiente=0,tobjeto=0;
float ambiente2=0,tobjeto2=0;
int boton=0;
int ledv=10,leda=9;
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  mySerial.begin(9600);
  lcd.begin (16,2);
  lcd.setBacklightPin(3,POSITIVE);
  lcd.setBacklight(HIGH);
  lcd.home ();
  pinMode(ledv,OUTPUT);
  pinMode(leda,OUTPUT);
  pinMode(2,OUTPUT);

  mlx.begin();
  lcd.print("  DATALOGGER");
```

```

delay(1000);
if (!SD.begin(chipSelect))
{
  do{
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.println("Error microSD  ");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.println("No hay memoria ");
    digitalWrite(leda,HIGH);
    delay(100);
    digitalWrite(leda,LOW);
    digitalWrite(ledv,HIGH);
    delay(100);
    digitalWrite(ledv,LOW);
  }while (1);
}
}

void loop() {
  boton = digitalRead(2);
if (mySerial.available())
{
  COM=mySerial.readStringUntil('\n');
  if(COM.length()==14)
  {
    ambiente=COM.substring(0,6);
    sujeto=COM.substring(7,12);

    ambiente2=sambiente.toFloat();
    tobjeto2=sobjeto.toFloat();
  }
  digitalWrite(ledv,HIGH);
}
}

```

```

        ambiente=mlx.readAmbientTempC();
    objeto=mlx.readObjectTempC();
        lcd.clear();
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("A:");
    lcd.print(ambiente,1);
    lcd.print((char)223);
    lcd.setCursor(8, 0);
    lcd.print(" Ti:");
    lcd.print(objeto,1);
    lcd.print((char)223);
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("A:");
    lcd.print(ambiente2,1);
    lcd.print((char)223);
    lcd.setCursor(8, 1);
    lcd.print(" Td:");
    lcd.print(objeto2,1);
    lcd.print((char)223);
    delay(500);
}
if(boton==1){
    guardar();
    lcd.setCursor(15, 1);
    lcd.println(".");
    delay(100);
    lcd.setCursor(15, 1);
    lcd.println(" ");
}
}
void guardar()
{

```

```
digitalWrite(leda,HIGH);
INFO="Temp1. Ambiente: ,";
INFO+=tambiente;
INFO+=" , Temp1. Objeto: ,";
INFO+=tobjeto;
INFO+=" ,Temp2. Ambiente: ,";
INFO+=tambiente2;
INFO+=" , Temp2. Objeto: ,";
INFO+=tobjeto2;
File dataFile = SD.open("datalog.txt", FILE_WRITE);
if (dataFile) {
  dataFile.println(INFO);
  dataFile.close();
  digitalWrite(leda,LOW);
} else {
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.println("ERROR ABRIENDO ");
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.println("  datalog.txt");
}
}
```

ANEXO B: Datos del comportamiento térmico en el sistema de freno ventilado.

SISTEMA DE FRENO VENTILADO						
<i>Pastillas de freno - PPB-1</i>						
Tiempo (s)	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	Prueba 5	Prueba 6
0	85	88	90	92	84	82
0,5	85	85	91	93	82	81
1	85	88	90	94	81	82
1,5	84	87	90	94	82	81
2	84	87	90	94	82	82
2,5	84	88	89	92	81	82
3	83	87	88	93	81	81
3,5	82	86	89	92	82	81
4	83	86	88	91	81	81
4,5	84	85	87	93	81	80
5	84	84	86	93	82	80
5,5	84	82	86	92	81	80
6	83	82	85	90	81	79
6,5	83	81	84	86	80	78
7	82	79	84	87	80	76
7,5	82	79	84	88	79	77
8	82	79	83	85	79	76
8,5	82	77	81	85	77	75
9	80	76	81	84	76	73
9,5	81	77	80	84	74	73
10	80	76	78	83	74	72
10,5	81	75	78	82	73	71
11	80	74	78	81	72	70
11,5	80	73	77	80	71	68
12	79	73	76	79	71	68
12,5	78	72	76	79	70	68
13	77	71	75	78	69	68
13,5	76	71	73	77	68	67
14	75	70	73	77	68	67
14,5	75	69	73	76	68	64
15	75	67	72	75	67	65
15,5	75	66	70	74	66	65
16	74	83	69	72	66	64
16,5	73	95	68	71	64	63
17	72	102	67	77	64	63
17,5	72	105	66	90	62	60
18	72	125	82	100	64	66
18,5	72	133	93	103	81	83
19	71	135	101	115	91	93
19,5	70	134	103	125	96	97
20	69	139	119	125	100	99
20,5	68	68	125	138	118	126
21	77	77	133	139	124	131
21,5	106	106	133	106	133	136
22	120	120	135	120	133	138
<i>Pastillas de freno - PPB-2</i>						
Tiempo (s)	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	Prueba 5	Prueba 6
0	85	83	78	84	99	83
0,5	86	82	78	84	101	85
1	83	82	77	82	99	83
1,5	86	81	77	83	98	85

2	84	82	77	84	99	85
2,5	83	80	78	81	101	85
3	84	80	77	81	99	83
3,5	82	81	76	79	100	83
4	83	79	75	79	99	81
4,5	83	81	74	80	98	84
5	83	80	74	80	97	82
5,5	84	80	74	79	97	82
6	83	80	74	78	96	82
6,5	83	78	73	76	95	82
7	83	77	73	75	91	81
7,5	82	77	73	75	92	80
8	81	76	72	71	91	78
8,5	81	75	72	70	91	78
9	80	74	73	69	88	77
9,5	80	73	71	68	87	76
10	79	72	71	67	86	74
10,5	79	72	69	66	85	72
11	78	71	68	64	84	72
11,5	78	70	66	64	84	71
12	77	70	66	63	82	69
12,5	77	69	65	64	81	68
13	76	68	63	62	81	67
13,5	76	67	62	61	80	66
14	76	66	61	60	78	66
14,5	76	66	60	59	78	64
15	75	65	59	58	77	63
15,5	74	65	58	57	75	62
16	73	64	56	56	87	62
16,5	73	64	55	55	104	62
17	72	62	55	52	109	61
17,5	77	61	55	51	114	59
18	112	76	45	72	132	58
18,5	125	90	62	86	142	56
19	134	97	76	91	148	66
19,5	137	101	84	92	151	83
20	139	121	90	112	152	91
20,5	137	134	112	124	152	94
21	139	138	118	130	154	107
21,5	145	138	123	132	153	129
22	147	137	129	130	151	136

Pastillas de freno - PPB-3

Tiempo (s)	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	Prueba 5	Prueba 6
0	78	80	78	87	87	84
0,5	77	80	78	87	88	82
1	77	78	78	87	88	83
1,5	78	79	79	87	87	82
2	78	78	80	87	85	83
2,5	79	76	80	87	85	83
3	79	77	84	86	85	80
3,5	79	78	82	87	85	82
4	78	77	84	84	84	82
4,5	76	75	86	83	80	82
5	76	75	87	83	83	80
5,5	77	74	84	82	82	79
6	75	74	82	80	81	78
6,5	74	72	86	79	78	77
7	73	72	88	78	78	77

7,5	72	69	89	77	77	76
8	71	68	96	75	74	75
8,5	70	68	95	74	75	74
9	69	67	91	73	74	72
9,5	69	66	92	70	73	73
10	69	66	92	71	72	73
10,5	68	63	91	71	71	72
11	66	64	89	70	70	72
11,5	65	62	88	68	69	70
12	65	61	88	66	69	69
12,5	64	62	88	65	68	69
13	64	60	87	64	68	68
13,5	64	60	86	65	67	67
14	62	58	84	62	66	66
14,5	62	58	84	62	65	63
15	62	57	83	61	86	82
15,5	60	57	82	60	100	100
16	61	55	83	60	105	107
16,5	60	54	80	58	113	112
17	58	54	80	56	131	112
17,5	58	74	79	56	135	147
18	69	84	79	62	133	150
18,5	80	91	86	89	144	150
19	105	104	105	121	144	151
19,5	117	115	112	136	144	150
20	126	123	118	145	144	150
20,5	130	121	120	146	144	150
21	133	131	151	143	144	150
21,5	133	131	150	139	144	150
22	133	131	153	137	144	150

Pastillas de freno - BP-1

Tiempo (s)	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	Prueba 5	Prueba 6
0	54	84	82	83	84	82
0,5	53	84	82	83	82	81
1	53	84	82	83	82	79
1,5	52	84	81	80	81	78
2	51	84	81	80	81	77
2,5	51	83	81	79	79	76
3	50	83	80	79	78	76
3,5	51	83	80	78	77	73
4	51	82	80	75	76	72
4,5	49	80	80	76	74	71
5	50	79	79	74	72	70
5,5	49	78	79	74	72	68
6	47	78	79	72	71	69
6,5	47	76	77	72	69	68
7	47	75	77	70	68	67
7,5	46	73	76	69	68	66
8	45	72	75	69	67	65
8,5	45	72	74	68	66	64
9	45	71	74	67	66	64
9,5	45	69	73	66	65	63
10	44	68	70	63	64	61
10,5	44	68	70	62	63	60
11	45	67	69	61	63	60
11,5	43	66	68	61	61	59
12	42	64	68	59	61	60
12,5	42	63	66	59	57	71

13	53	63	66	59	56	78
13,5	60	62	65	58	67	81
14	63	61	64	57	76	87
14,5	69	61	63	65	81	96
15	76	59	63	77	84	96
15,5	82	58	76	82	86	108
16	83	56	81	84	88	109
16,5	85	70	86	93	96	114
17	85	75	96	95	99	113
17,5	87	81	105	108	102	113
18	89	85	108	110	107	112
18,5	88	99	110	112	108	111
19	89	104	115	113	109	112
19,5	90	104	115	110	109	112
20	89	104	118	110	109	112
20,5	89	110	115	112	109	113
21	89	111	115	113	110	113
21,5	89	110	115	113	110	115
22	89	110	115	113	110	116

Pastillas de freno - BP-2

Tiempo (s)	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	Prueba 5	Prueba 6
0	80	80	80	80	82	82
0,5	79	78	81	78	82	81
1	78	79	81	77	79	80
1,5	78	79	80	74	79	80
2	78	76	79	74	78	79
2,5	77	76	79	73	77	77
3	76	76	76	71	77	78
3,5	74	74	76	69	74	77
4	72	76	76	68	74	74
4,5	72	76	75	67	73	71
5	71	75	75	67	72	71
5,5	69	76	75	66	71	70
6	68	76	74	65	71	69
6,5	68	74	74	64	70	70
7	67	72	74	64	69	68
7,5	66	70	73	62	69	67
8	66	71	73	60	67	66
8,5	65	70	73	60	67	65
9	64	68	72	59	67	65
9,5	63	68	72	58	66	63
10	63	66	71	57	66	63
10,5	56	66	69	57	64	62
11	54	64	69	57	62	60
11,5	54	63	66	55	61	60
12	55	62	66	55	66	59
12,5	54	63	66	76	83	59
13	53	62	66	89	93	80
13,5	51	61	65	97	99	90
14	50	60	64	99	116	97
14,5	76	59	61	110	126	109
15	81	60	76	127	127	111
15,5	84	58	93	128	127	130
16	93	59	101	128	128	131
16,5	96	57	104	129	128	132
17	99	56	126	130	129	133
17,5	102	54	126	131	129	133
18	107	76	139	134	130	134

18,5	111	92	140	134	132	134
19	112	97	143	135	133	137
19,5	114	110	145	136	133	137
20	116	131	146	137	134	137
20,5	117	131	149	138	136	140
21	124	135	149	138	137	140
21,5	127	145	153	138	138	141
22	128	150	154	143	139	141
<i>Pastillas de freno - BP-3</i>						
Tiempo (s)	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	Prueba 5	Prueba 6
0	80	75	80	80	80	89
0,5	78	75	80	80	80	90
1	74	75	77	77	79	89
1,5	74	74	79	79	78	91
2	76	75	78	77	77	91
2,5	76	76	78	77	76	88
3	76	76	76	76	73	88
3,5	76	75	74	75	74	89
4	76	74	75	73	72	89
4,5	75	73	73	73	71	88
5	73	74	73	71	71	85
5,5	71	74	72	69	67	87
6	69	74	70	69	67	87
6,5	70	72	70	68	67	84
7	71	72	69	68	67	82
7,5	72	71	69	66	65	83
8	71	72	68	65	64	81
8,5	70	66	68	64	64	79
9	67	69	66	64	62	77
9,5	66	68	65	63	62	75
10	67	67	65	67	61	76
10,5	68	67	64	84	61	75
11	66	65	62	90	61	73
11,5	66	62	62	95	58	73
12	64	63	63	100	58	71
12,5	64	61	61	122	56	72
13	63	61	61	130	54	70
13,5	62	61	61	130	54	70
14	68	60	60	131	54	68
14,5	80	61	61	131	50	66
15	89	59	59	131	50	65
15,5	111	58	58	131	50	66
16	124	57	57	132	50	64
16,5	126	57	57	132	66	63
17	133	57	57	133	78	61
17,5	133	54	54	133	85	60
18	134	53	80	134	90	62
18,5	136	54	89	134	104	78
19	136	62	94	134	103	88
19,5	136	75	110	134	122	92
20	137	82	123	135	126	104
20,5	137	87	126	135	127	115
21	138	106	126	135	126	123
21,5	138	119	132	138	130	129
22	139	123	136	138	130	130

ANEXO C: Datos del comportamiento térmico en el sistema de freno hiperventilado.

SISTEMA DE FRENO HIPERVENTILADO						
<i>Pastillas de freno - PPB-1</i>						
Tiempo (s)	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	Prueba 5	Prueba 6
0	35	64	101	101	89	84
0,5	36	63	100	100	90	85
1	36	64	99	99	89	84
1,5	36	63	100	100	88	85
2	36	62	100	100	87	85
2,5	36	64	97	97	88	84
3	36	63	99	99	87	84
3,5	36	63	98	98	87	84
4	36	62	96	96	86	83
4,5	36	61	96	96	86	83
5	35	61	95	95	85	84
5,5	35	61	95	95	85	83
6	35	60	96	96	85	82
6,5	35	60	92	92	82	80
7	35	59	92	92	82	78
7,5	35	58	91	91	81	78
8	36	58	90	90	81	77
8,5	36	58	89	89	79	76
9	35	58	91	91	79	76
9,5	35	56	89	89	79	73
10	36	56	90	90	78	73
10,5	35	55	89	89	77	71
11	35	54	88	88	76	71
11,5	35	54	89	89	75	71
12	35	54	87	87	74	70
12,5	34	53	85	85	74	69
13	35	52	85	85	74	67
13,5	34	52	86	86	72	67
14	34	52	83	83	72	67
14,5	34	52	84	84	69	66
15	34	51	84	84	69	65
15,5	33	51	82	82	68	65
16	33	50	82	82	68	62
16,5	32	49	81	81	69	62
17	32	48	78	78	92	73
17,5	32	48	91	91	103	91
18	31	66	104	104	109	100
18,5	31	77	109	109	120	106
19	30	83	115	115	120	129
19,5	30	97	116	116	135	140
20	29	111	151	151	135	144
20,5	29	116	150	150	135	143
21	29	116	154	154	135	143
21,5	28	127	155	155	135	143
22	28	129	154	154	135	143
<i>Pastillas de freno - PPB-2</i>						
Tiempo (s)	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	Prueba 5	Prueba 6
0	85	84	84	78	83	90
0,5	85	85	85	77	83	89
1	85	84	84	77	83	89
1,5	85	83	83	76	83	89

2	84	83	84	75	83	89
2,5	84	82	83	75	84	89
3	84	82	84	75	82	89
3,5	85	81	84	75	81	89
4	84	82	83	74	81	89
4,5	84	82	83	74	81	89
5	82	82	82	73	81	91
5,5	82	81	81	73	80	90
6	82	79	82	72	80	91
6,5	81	78	82	72	79	89
7	82	78	82	71	78	86
7,5	81	76	81	71	77	88
8	81	77	82	69	76	85
8,5	81	76	81	69	76	84
9	80	75	80	67	75	83
9,5	80	74	78	67	74	83
10	79	73	77	66	74	83
10,5	79	73	76	65	73	82
11	79	71	76	64	72	82
11,5	78	71	75	63	72	81
12	78	70	74	62	71	82
12,5	77	69	73	62	70	79
13	76	70	72	62	70	78
13,5	76	70	71	61	69	78
14	76	70	72	61	68	77
14,5	75	69	72	60	68	77
15	75	67	71	59	66	77
15,5	75	66	70	59	66	75
16	74	67	69	58	66	74
16,5	73	81	68	56	65	73
17	72	92	69	73	65	73
17,5	84	98	69	89	64	72
18	95	109	67	97	63	71
18,5	104	121	66	97	62	71
19	109	135	64	101	62	71
19,5	124	139	64	102	60	70
20	140	141	72	107	65	85
20,5	146	141	85	110	82	95
21	148	138	94	111	93	102
21,5	148	138	98	113	103	116
22	152	138	116	116	108	116

Pastillas de freno - PPB-2

Tiempo (s)	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	Prueba 5	Prueba 6
0	65	64	80	88	81	81
0,5	64	62	81	88	81	81
1	64	63	79	89	80	80
1,5	61	62	79	89	79	79
2	60	60	79	90	78	78
2,5	61	60	78	87	78	78
3	60	59	78	87	75	75
3,5	59	58	76	85	75	75
4	59	57	76	84	74	74
4,5	59	57	75	86	74	74
5	58	55	75	84	72	72
5,5	57	55	74	83	72	72
6	57	54	73	83	71	71
6,5	56	53	73	81	71	71
7	55	52	71	81	72	72

7,5	55	51	71	80	72	72
8	54	52	70	79	71	71
8,5	53	50	69	78	70	70
9	53	50	68	78	67	67
9,5	53	49	68	75	67	67
10	52	48	66	75	67	67
10,5	50	49	67	74	67	67
11	50	48	66	74	67	67
11,5	50	47	66	72	67	67
12	48	46	65	72	67	67
12,5	54	45	64	71	67	67
13	69	44	63	71	64	64
13,5	78	44	63	72	63	63
14	83	42	62	72	63	63
14,5	109	42	61	71	62	62
15	114	58	60	70	61	61
15,5	114	69	60	67	60	60
16	118	76	58	67	60	60
16,5	119	80	67	72	58	58
17	119	98	85	91	95	95
17,5	119	103	92	100	100	100
18	119	105	97	107	107	107
18,5	119	116	111	120	120	120
19	119	116	123	132	132	132
19,5	120	118	131	139	139	139
20	120	118	133	139	139	139
20,5	120	118	134	139	139	139
21	120	118	135	139	142	142
21,5	120	118	135	142	142	142
22	120	118	135	142	142	142

Pastillas de freno - BP-1

Tiempo (s)	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	Prueba 5	Prueba 6
0	80	80	81	80	80	82
0,5	70	77	79	78	80	82
1	69	77	79	78	79	82
1,5	72	79	76	77	78	81
2	75	79	74	76	77	81
2,5	75	77	73	75	76	81
3	71	79	74	73	76	80
3,5	71	79	73	73	75	80
4	70	78	70	70	73	79
4,5	69	74	69	70	71	78
5	68	75	69	69	71	78
5,5	67	72	67	68	70	77
6	66	72	66	67	69	75
6,5	66	72	67	66	68	74
7	64	71	63	65	67	72
7,5	63	70	63	64	67	72
8	62	67	63	63	66	70
8,5	62	66	61	61	65	69
9	61	66	62	62	65	69
9,5	61	64	61	61	64	68
10	59	63	59	59	61	65
10,5	58	63	59	59	60	65
11	56	63	56	56	59	64
11,5	56	62	55	55	58	64
12	55	60	64	64	65	63
12,5	55	59	72	64	67	62

13	53	59	75	68	67	60
13,5	53	57	86	79	73	59
14	52	56	89	85	79	64
14,5	50	56	88	89	84	73
15	50	55	103	103	98	80
15,5	50	55	105	105	104	84
16	48	54	105	105	108	99
16,5	48	65	107	107	108	108
17	56	75	107	107	108	111
17,5	64	79	107	107	116	133
18	70	82	109	109	111	134
18,5	74	98	108	108	117	135
19	93	113	109	109	116	131
19,5	100	113	109	109	115	121
20	108	113	109	106	107	120
20,5	108	125	107	115	116	118
21	118	126	109	126	116	124
21,5	118	128	110	124	116	125
22	118	136	116	131	127	125

Pastillas de freno - BP-2

Tiempo (s)	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	Prueba 5	Prueba 6
0	75	83	82	81	82	81
0,5	77	82	81	81	81	78
1	72	82	80	80	79	79
1,5	71	81	80	80	77	77
2	74	81	78	79	77	75
2,5	73	80	79	78	77	76
3	72	80	79	77	75	75
3,5	71	80	75	76	74	72
4	73	77	75	74	74	71
4,5	72	76	75	74	73	69
5	70	73	74	73	70	68
5,5	70	73	73	71	70	66
6	69	72	70	70	69	66
6,5	68	71	70	69	67	64
7	66	72	69	69	66	64
7,5	66	69	68	67	66	63
8	65	70	66	67	65	62
8,5	65	68	65	66	63	61
9	64	68	64	65	62	60
9,5	63	66	63	65	60	59
10	63	64	63	65	60	58
10,5	61	63	62	64	60	56
11	60	63	61	64	58	56
11,5	60	60	60	64	57	55
12	58	60	59	63	56	53
12,5	57	61	58	62	55	52
13	57	60	58	61	55	52
13,5	57	59	56	60	58	50
14	56	56	56	59	58	50
14,5	55	56	54	58	60	77
15	55	55	54	58	60	86
15,5	53	54	52	57	60	91
16	53	53	52	55	61	107
16,5	52	53	50	58	78	117
17	52	52	63	79	80	112
17,5	76	52	81	88	89	111
18	87	69	87	92	92	111

18,5	92	83	90	105	103	114
19	94	89	92	118	103	114
19,5	127	92	89	113	128	115
20	127	113	123	129	133	115
20,5	134	123	123	130	135	116
21	134	115	131	130	138	124
21,5	138	130	137	135	139	128
22	138	130	133	135	140	128
<i>Pastillas de freno - BP-3</i>						
Tiempo (s)	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	Prueba 5	Prueba 6
0	80	82	82	82	82	88
0,5	80	81	81	82	79	87
1	77	78	81	81	77	86
1,5	78	79	80	80	77	84
2	73	78	80	80	76	83
2,5	78	76	79	80	73	82
3	76	75	78	78	72	82
3,5	75	73	76	76	71	81
4	74	73	78	75	69	79
4,5	73	72	77	75	69	78
5	68	72	76	75	68	77
5,5	70	71	75	74	65	76
6	70	72	73	74	65	73
6,5	68	68	73	73	64	73
7	67	67	73	73	62	71
7,5	67	67	72	71	61	70
8	66	66	72	71	60	68
8,5	64	67	71	71	58	68
9	63	65	71	71	57	67
9,5	63	63	69	71	56	66
10	62	63	68	69	55	64
10,5	61	62	67	69	54	62
11	59	61	61	64	69	61
11,5	59	61	61	64	74	61
12	59	60	60	56	77	61
12,5	58	58	58	56	88	70
13	57	58	58	54	98	78
13,5	56	58	58	60	104	81
14	56	59	59	62	104	85
14,5	55	59	60	64	104	101
15	55	66	65	69	119	104
15,5	52	73	70	72	119	108
16	52	77	73	82	119	110
16,5	51	78	73	89	126	110
17	60	93	75	94	126	111
17,5	68	103	83	96	127	114
18	74	108	87	99	127	115
18,5	78	103	90	123	127	116
19	92	102	92	128	128	120
19,5	103	106	111	124	128	120
20	103	106	114	124	128	122
20,5	114	109	113	129	128	124
21	114	111	112	126	128	127
21,5	115	124	116	115	128	130
22	121	125	117	116	128	133

ANEXO D: Datos de distancia de frenado en el sistema de freno ventilado.

SISTEMA DE FRENO VENTILADO					
<i>Pastillas de freno - PPB-1</i>					
Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	Prueba 5	Prueba 6
54,85	57,35	57,45	51,8	53,9	50,9
<i>Pastillas de freno - PPB-2</i>					
Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	Prueba 5	Prueba 6
51,3	54,25	55,1	47,65	55,1	55,1
<i>Pastillas de freno - PPB-3</i>					
Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	Prueba 5	Prueba 6
50,25	48,1	48,7	47,3	44,9	53,35
<i>Pastillas de freno - BP-1</i>					
Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	Prueba 5	Prueba 6
59,6	51,93	56,04	59,5	54,04	51,5
<i>Pastillas de freno - BP-2</i>					
Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	Prueba 5	Prueba 6
60,98	61,51	67,78	66,07	61,8	64,56
<i>Pastillas de freno - BP-3</i>					
Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	Prueba 5	Prueba 6
61,03	65,27	64,55	58,86	56,99	64,37

ANEXO E: Datos de distancia de frenado en el sistema de freno hiperventilado.

SISTEMA DE FRENO HIPERVENTILADO					
<i>Pastillas de freno - PPB-1</i>					
Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	Prueba 5	Prueba 6
50,10	48,20	46,20	50,30	46,50	42,10
<i>Pastillas de freno - PPB-2</i>					
Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	Prueba 5	Prueba 6
43,01	40,40	41,70	44,40	47,45	45,20
<i>Pastillas de freno - PPB-3</i>					
Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	Prueba 5	Prueba 6
42,10	40,85	45,20	42,80	42,00	43,70
<i>Pastillas de freno - BP-1</i>					
Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	Prueba 5	Prueba 6
55,44	58,50	56,50	52,25	53,55	54,85
<i>Pastillas de freno - BP-2</i>					
Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	Prueba 5	Prueba 6
60,40	57,20	58,45	55,27	53,42	59,95
<i>Pastillas de freno - BP-3</i>					
Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	Prueba 5	Prueba 6
49,95	55,81	52,68	54,50	58,89	54,29