



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTA DE MECÁNICA**

**CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**“ESTUDIO DE LA EFICACIA DE FRENADO DE UN VEHÍCULO  
CON SISTEMA ABS DE SUBCATEGORÍA M1 EN FUNCIÓN DE  
LA TEMPERATURA DE TRABAJO DE LAS PASTILLAS DE  
FRENO”**

**Trabajo de Integración Curricular**

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar por el grado académico de:

**INGENIERO AUTOMOTRIZ**

**AUTORES:**

**FRANCISCO JAVIER OCHOA LLUMIQUINGA**

**BYRON IVANNOV UCHUPANTA ACERO**

Riobamba – Ecuador

2021



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTA DE MECÁNICA**  
**CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**“ESTUDIO DE LA EFICACIA DE FRENADO DE UN VEHÍCULO  
CON SISTEMA ABS DE SUBCATEGORÍA M1 EN FUNCIÓN DE  
LA TEMPERATURA DE TRABAJO DE LAS PASTILLAS DE  
FRENO”**

**Trabajo de Integración Curricular**

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar por el grado académico de:

**INGENIERO AUTOMOTRIZ**

**AUTORES:** FRANCISCO JAVIER OCHOA LLUMIQUINGA

BYRON IVANNOV UCHUPANTA ACERO

**DIRECTOR:** Ing. JOHNNY MARCELO PANCHÁ RAMOS MSc.

Riobamba – Ecuador

2021

**©2021, Francisco Javier Ochoa Llumiyinga y Byron Ivannov Uchupanta Acero**

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

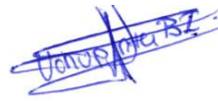
Nosotros, FRANCISCO JAVIER OCHOA LLUMIQUINGA y BYRON IVANNOV UCHUPANTA ACERO, declaramos que el presente trabajo de titulación es de nuestra autoría y los resultados de este son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autores asumimos 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, 23 de noviembre de 2021.



**Francisco Javier Ochoa Llumiquinga**  
C.C. 1720444825-5



**Byron Ivannov Uchupanta Acero**  
C.C. 171905651-5

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE MECÁNICA**  
**CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

El Tribunal del trabajo de titulación certifica que: El trabajo de titulación: Tipo: Proyecto de Investigación, **ESTUDIO DE LA EFICACIA DE FRENADO DE UN VEHÍCULO CON SISTEMA ABS DE SUBCATEGORÍA M1 EN FUNCIÓN DE LA TEMPERATURA DE TRABAJO DE LAS PASTILLAS DE FRENO**, realizado por los señores: **FRANCISCO JAVIER OCHOA LLUMIQUINGA Y BYRON IVANNOV UCHUPANTA ACERO**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del trabajo de titulación, 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 <b>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</b>	_____	2021-11-23
Ing. Johnny Marcelo Pancha Ramos <b>DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN</b>	_____	2021-11-23
Ing. Víctor David Bravo Morocho <b>MIEMBRO DEL TRIBUNAL</b>	_____	2021-11-23

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo de titulación se la dedico con orgullo a mis padres Juan Barahona y Nancy Llumiquinga, quienes siempre me brindaron apoyo incondicional para cumplir un sueño muy anhelado, gracias por inculcar amor y el respeto hacia mí y las demás personas, por inspirar valentía para superar las adversidades y seguir adelante.

A mis queridas hermanas Evelyn, Liliana y Viviana por estar conmigo en todo momento, por el sacrificio y trabajo en todos estos años, gracias ustedes logré llegar hasta este gran momento y poder convertirme en la persona que soy.

Por último, quiero dedicar este trabajo de titulación a mis amigos, por no dejarme solo en los momentos difíciles, por ser las personas que extendieron su mano y no me dejaron rendirme, siempre estarán presentes y muy agradecidos con ustedes.

**Ochoa Llumiquinga Francisco Javier**

A mis padres, por su amor, trabajo y sacrificio durante todo este tiempo, gracias a ellos he logrado concluir mi formación como profesional.

**Uchupanta Acero Byron Ivannov**

## **AGRADECIMIENTO**

Quiero expresar mi gratitud a toda mi familia quienes me inculcaron el interés por el estudio, por compartir sus conocimientos y experiencias de vida que fueron importantes para mi formación como profesional.

De igual manera expreso mi agradecimiento al Ing. Johnny Pancha y al Ing. David Bravo, quienes con su conocimiento, dirección y enseñanza permitieron el desarrollo de este trabajo.

Por último, deseo expresar mi agradecimiento a los docentes de la Carrera de Ingeniería Automotriz por inculcar el interés en la rama profesional, por guiarme con sabiduría durante mi trayectoria como estudiante, lo cual me permitió ser una mejor persona.

**Ochoa Llumiyinga Francisco Javier**

A todo el personal docente que conforma la Carrera de Ingeniería Automotriz, quienes me impartieron su sabiduría para guiar mi camino en mi formación personal y profesional.

**Uchupanta Acero Byron Ivannov**

## TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xiv
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xvi
RESUMEN.....	xvii
SUMMARY .....	xviii
INTRODUCCIÓN .....	1

### CAPÍTULO I

<b>1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....</b>	<b>2</b>
<b>1.1. Justificación.....</b>	<b>2</b>
<b>1.2. Objetivos.....</b>	<b>4</b>
<i>1.2.1. Objetivo general.....</i>	<i>4</i>
<i>1.2.2. Objetivos específicos .....</i>	<i>4</i>
<b>1.3. Hipótesis .....</b>	<b>5</b>
<i>1.3.1. Hipótesis nula (Ho).....</i>	<i>5</i>
<i>1.3.2. Hipótesis alternativa (Hi) .....</i>	<i>5</i>
<b>1.4. Estado del arte .....</b>	<b>5</b>
<i>1.4.1. Vehículos con sistemas ABS.....</i>	<i>5</i>
<i>1.4.2. Disco de freno .....</i>	<i>6</i>
<i>1.4.2.1. La fricción.....</i>	<i>7</i>
<i>1.4.3. Pastillas de freno.....</i>	<i>7</i>
<i>1.4.3.1. Composición de una pastilla de frenos.....</i>	<i>8</i>
<i>1.4.3.2. Underlayer.....</i>	<i>8</i>
<i>1.4.3.3. Cristalización de las pastillas de freno .....</i>	<i>9</i>
<i>1.4.4. Líquido de freno.....</i>	<i>10</i>
<i>1.4.4.1. Medición del punto de ebullición .....</i>	<i>10</i>
<i>1.4.4.2. Medición del grado de humedad .....</i>	<i>11</i>
<i>1.4.5. Temperaturas en el sistema de freno .....</i>	<i>12</i>
<i>1.4.5.1. Influencia de la Temperatura de los Frenos.....</i>	<i>12</i>
<i>1.4.5.2. Temperatura en pastillas y disco de freno.....</i>	<i>13</i>
<i>1.4.5.3. Conductividad térmica entre pastillas y soporte metálico .....</i>	<i>13</i>
<i>1.4.6. Factores que interviene en la eficacia de frenado.....</i>	<i>14</i>

1.4.6.1.	<i>Deceleración</i> .....	14
1.4.6.2.	<i>Energía cinética</i> .....	15
1.4.6.3.	<i>Fuerza de frenado</i> .....	15
1.4.6.4.	<i>Transferencia de pesos</i> .....	16
1.4.6.5.	<i>Superficie de contacto</i> .....	16
1.4.6.6.	<i>Coefficiente de fricción</i> .....	17
1.4.6.7.	<i>Coefficiente de adherencia</i> .....	18
1.4.6.8.	<i>Aerodinámica</i> .....	18
1.4.6.9.	<i>Distancia y tiempo de frenado</i> .....	18

## **CAPÍTULO II**

<b>2.</b>	<b>MARCO METODOLÓGICO</b> .....	<b>20</b>
<b>2.1.</b>	<b>Estructura del marco metodológico</b> .....	<b>20</b>
<b>2.2.</b>	<b>Diseño metodológico</b> .....	<b>21</b>
<b>2.2.1.</b>	<b>Tipo de investigación</b> .....	<b>21</b>
2.2.1.1.	<i>Cuantitativa</i> .....	22
2.2.1.2.	<i>Experimental</i> .....	22
2.2.1.3.	<i>Empírico</i> .....	22
<b>2.2.2.</b>	<b>Población y muestra</b> .....	<b>22</b>
2.2.2.1.	<i>Población</i> .....	22
2.2.2.2.	<i>Muestra</i> .....	23
2.2.2.3.	<i>Tipo de muestreo</i> .....	23
<b>2.3.</b>	<b>Materiales y métodos</b> .....	<b>23</b>
<b>2.3.1.</b>	<b>Equipos para la obtención de datos</b> .....	<b>23</b>
<b>2.3.2.</b>	<b>Conexiones del circuito</b> .....	<b>25</b>
2.3.2.1.	<i>Sensor de temperatura MLX90614</i> .....	26
2.3.2.2.	<i>LCD 16X2</i> .....	27
<b>2.3.3.</b>	<b>Programación Arduino IDE</b> .....	<b>28</b>
2.3.3.1.	<i>Programación sensor MLX90614</i> .....	28
2.3.3.2.	<i>Programación del LCD 16X2</i> .....	28
<b>2.3.4.</b>	<b>Diseño del esquema electrónico</b> .....	<b>29</b>
<b>2.3.5.</b>	<b>Instalación del sensor en el vehículo</b> .....	<b>31</b>
2.3.5.1.	<i>Calibración del sensor y pruebas de funcionamiento</i> .....	35
<b>2.3.6.</b>	<b>Método para la obtención de datos</b> .....	<b>36</b>
2.3.6.1.	<i>Recopilación de datos</i> .....	37
2.3.6.2.	<i>Método de análisis estadístico</i> .....	40

2.3.6.3. <i>Análisis de variables</i> .....	40
---	----

### CAPITULO III

<b>3. ANÁLISIS DE DATOS</b> .....	<b>42</b>
<b>3.1. Monitoreo de pruebas en pista</b> .....	<b>42</b>
<b>3.1.1. Pastillas de freno DLBE</b> .....	<b>42</b>
3.1.1.1. <i>Datos de temperatura de las pastillas de freno DLBE1</i> .....	42
3.1.1.2. <i>Datos de temperatura de las pastillas de freno DLBE2</i> .....	44
3.1.1.3. <i>Datos de temperatura de las pastillas de freno DLBE3</i> .....	45
3.1.1.4. <i>Comparativa de las temperaturas de las pastillas de freno DLBE 1, 2 y 3</i> .....	45
3.1.1.5. <i>Distancia de frenado y tiempo de accionamiento del pedal de freno con las pastillas de freno DLBE 1, 2 y 3</i> .....	46
3.1.1.6. <i>Resultado final del análisis de las pastillas de freno Double Link Brake (DLBE)</i> .....	47
<b>3.1.2. Pastillas de freno Brake Pak (BPP)</b> .....	<b>49</b>
3.1.2.1. <i>Datos de temperatura de las pastillas de freno BPP1</i> .....	49
3.1.2.2. <i>Datos de temperatura de las pastillas de freno BPP2</i> .....	50
3.1.2.3. <i>Datos de temperatura de las pastillas de freno BPP3</i> .....	51
3.1.2.4. <i>Comparativa de las temperaturas de las pastillas de freno BPP 1, 2 y 3</i> .....	52
3.1.2.5. <i>Distancia de frenado y tiempo de accionamiento del pedal de freno con las pastillas de freno BPP 1, 2 y 3</i> .....	53
3.1.2.6. <i>Resultado final del análisis de las pastillas de freno Brake Pak (BPP)</i> .....	54
<b>3.1.3. Comparativa entre los datos medios de temperatura y distancia de frenado de las pastillas Double Link Brake (DLBE) y Brake Pak (BPP)</b> .....	<b>55</b>
3.1.3.1. <i>Medias de temperatura las pastillas de freno DLBE y BPP de la rueda delantera izquierda y rueda delantera derecha</i> .....	55
3.1.3.2. <i>Media de distancia de frenado y tiempo de accionamiento del pedal de freno con las pastillas de freno DLBE Y BPP</i> .....	56
<b>3.2. Análisis estadístico</b> .....	<b>57</b>
<b>3.2.1. Método de correlación de Pearson</b> .....	<b>57</b>
<b>3.2.2. Método de prueba T Student</b> .....	<b>58</b>
3.2.2.1. <i>Análisis estadístico de las temperaturas de las pastillas de freno Double Link Brake (DLBE) y Brake Pak (BPP)</i> , .....	59
3.2.2.2. <i>Análisis estadístico de las distancias de frenado de las pastillas de freno Double Link Brake (DLBE) y Brake Pak (BPP)</i> .....	60
<b>3.3. Discusión de resultados</b> .....	<b>61</b>
<b>3.3.1. Temperatura de pastillas de freno</b> .....	<b>61</b>

<b>3.3.2. Distancia de frenado.....</b>	<b>63</b>
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>66</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>67</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	
<b>ANEXOS</b>	

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-1:</b>	Porcentaje de composición de pastillas de frenos .....	8
<b>Tabla 2-1:</b>	Tabla de comprobación de la temperatura de ebullición .....	11
<b>Tabla 3-1:</b>	Clasificación DOT .....	17
<b>Tabla 4-1:</b>	Nomenclaturas para pastillas de freno .....	17
<b>Tabla 1-2:</b>	Estructura del marco metodológico .....	20
<b>Tabla 2-2:</b>	Materiales y equipos utilizados para obtención de datos de temperatura.....	23
<b>Tabla 3-2:</b>	Designación de factores y niveles para su estudio.....	41
<b>Tabla 4-2:</b>	Iteraciones para cada designación .....	41
<b>Tabla 1-3:</b>	Media de distancia de frenado y tiempo de accionamiento del pedal de freno de las pastillas de freno DLBE.....	47
<b>Tabla 2-3:</b>	Media de distancia de frenado y tiempo de accionamiento del pedal de freno de las pastillas de freno BPP .....	53
<b>Tabla 3-3:</b>	Correlación de Pearson entre las variables de temperatura y distancia de frenado.....	57
<b>Tabla 4-3:</b>	Estadística de grupo para la temperatura .....	59
<b>Tabla 5-3:</b>	Prueba T para la temperatura .....	59
<b>Tabla 6-3:</b>	Estadística de grupo para la distancia de frenado.....	60
<b>Tabla 7-3:</b>	Prueba T para la distancia de frenado.....	61

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-1:</b>	Tipos de discos de freno. ....	7
<b>Figura 2-1:</b>	Pastillas de freno .....	8
<b>Figura 3-1:</b>	Pastilla de freno con underlayer.....	9
<b>Figura 4-1:</b>	Cristalización de la pastilla .....	9
<b>Figura 5-1:</b>	Representación del efecto de acumulación de humedad en el líquido de freno...10	
<b>Figura 6-1:</b>	Utilización del Higrómetro .....	11
<b>Figura 7-1:</b>	Utilización del comprobador de humedad .....	12
<b>Figura 8-1:</b>	Deformación del disco debido a las altas temperaturas. ....	13
<b>Figura 9-1:</b>	Conducción térmica entre pastilla y soporte metálico .....	14
<b>Figura 10-1:</b>	Efecto de la masa de un automóvil sobre la energía cinética.....	15
<b>Figura 11-1:</b>	Representación y fórmula de la fuerza de frenado .....	15
<b>Figura 12-1:</b>	Reparto de frenado.....	16
<b>Figura 13-1:</b>	Gráfica de tiempos de frenado .....	19
<b>Figura 1-2:</b>	Pruebas de conexión entre los componentes electrónicos.....	25
<b>Figura 2-2:</b>	Prueba de comunicación entre el PC y los componentes electrónicos.....	25
<b>Figura 3-2:</b>	Prueba final de funcionamiento del circuito .....	26
<b>Figura 4-2:</b>	Diagrama de conexión del sensor MLX90614.....	26
<b>Figura 5-2:</b>	Conexión del sensor según el diagrama para su funcionamiento.....	27
<b>Figura 6-2:</b>	Diagrama de conexión del LCD 16X2.....	27
<b>Figura 7-2:</b>	Programación con Arduino IDE .....	28
<b>Figura 8-2:</b>	Circuito esquemático de las conexiones en Proteus.....	29
<b>Figura 9-2:</b>	Modelo 3D de la placa y diseño del PCB .....	29
<b>Figura 10-2:</b>	Impreso del diseño PCB para el revelado en baquelita.....	29
<b>Figura 11-2:</b>	Corte de la baquelita para el revelado.....	30
<b>Figura 12-2:</b>	Obtención del diseño en baquelita para soldar los componentes .....	30
<b>Figura 13-2:</b>	Proceso de soldadura de los componentes electrónicos.....	30
<b>Figura 14-2:</b>	Conexión entre la placa electrónica y Arduino .....	31
<b>Figura 15-2:</b>	Diseño de platina para sujeción del sensor a las mordazas .....	31
<b>Figura 16-2:</b>	Dispositivo de monitoreo de temperaturas para las pastillas de freno .....	32
<b>Figura 17-2:</b>	Instalación del sensor para monitorear la temperatura de las pastillas de freno .32	
<b>Figura 18-2:</b>	Instalación del sensor de temperatura en las mordazas de los discos .....	33
<b>Figura 19-2:</b>	Instalación del cableado de los sensores a través del guardalodos del vehículo.33	
<b>Figura 20-2:</b>	Ubicación del dispositivo electrónico en la cabina .....	33
<b>Figura 21-2:</b>	Campo de visión conocido del sensor.....	34

<b>Figura 22-2:</b>	Instalación del sensor MLX90614 en las mordazas.....	34
<b>Figura 23-2:</b>	Verificación de calibración del sensor MLX90614 .....	35
<b>Figura 24-2:</b>	Comprobación de trabajo de los sensores .....	36
<b>Figura 25-2:</b>	Toma de datos para el análisis estadístico .....	37
<b>Figura 26-2:</b>	Oficio para utilizar la plataforma militar de la FAE .....	37
<b>Figura 27-2:</b>	Croquis del área en la cual se realizarán las pruebas .....	38
<b>Figura 28-2:</b>	Plataforma militar .....	38
<b>Figura 29-2:</b>	Delimitación del área para la prueba en pista .....	38
<b>Figura 30-2:</b>	Comprobación de la distancia de frenado de las pruebas piloto .....	39
<b>Figura 31-2:</b>	Cambio de pastillas de freno para las pruebas .....	39
<b>Figura 32-2:</b>	Cambio de pastillas para su acondicionamiento .....	40
<b>Figura 33-2:</b>	Marcas de pastillas de freno utilizadas en las pruebas .....	41

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1-1:</b>	Distancia de frenado de los vehículos de pruebas con ABS.....	6
<b>Gráfico 2-1:</b>	Comparación de promedios de distancias de frenado .....	12
<b>Gráfico 1-3:</b>	Temperatura de las Pastillas de freno DLBE1 Izquierda .....	43
<b>Gráfico 2-3:</b>	Temperatura de las Pastillas de freno DLBE1 Derecha vs Tiempo .....	43
<b>Gráfico 3-3:</b>	Temperatura Pastillas de freno DLBE1 Izquierda y Derecha vs Tiempo .....	44
<b>Gráfico 4-3:</b>	Temperatura Pastillas de freno DLBE2 Izquierda y Derecha vs Tiempo .....	44
<b>Gráfico 5-3:</b>	Temperatura Pastillas de freno DLBE3 Izquierda y Derecha vs Tiempo .....	45
<b>Gráfico 6-3:</b>	Comparativa de temperaturas entre las pastillas de freno DLBE 1, 2 y 3 de la rueda delantera izquierda.....	46
<b>Gráfico 7-3:</b>	Comparativa de temperaturas entre las pastillas DLBE 1, 2 y 3 de la rueda delantera derecha.....	46
<b>Gráfico 8-3:</b>	Distancia de frenado y tiempo de accionamiento del pedal de freno con las pastillas de freno DLBE 1, 2 y 3. ....	47
<b>Gráfico 9-3:</b>	Media de temperaturas de las pastillas de freno DLBE 1, 2 y 3 de las ruedas delanteras derecha e izquierda.....	48
<b>Gráfico 10-3:</b>	Media de distancia de frenado y tiempo de accionamiento del pedal del freno en las pastillas de freno DLBE 1, 2 y 3.....	48
<b>Gráfico 11-3:</b>	Temperatura de la Pastilla de freno BBP1 Izquierda vs Tiempo.....	49
<b>Gráfico 12-3:</b>	Temperatura de la Pastilla de freno BPP1 Derecha vs Tiempo.....	50
<b>Gráfico 13-3:</b>	Temperatura Pastillas de freno BPP1 Izquierda y Derecha vs Tiempo.....	50
<b>Gráfico 14-3:</b>	Temperatura Pastillas de freno BPP2 Izquierda y Derecha vs Tiempo.....	51
<b>Gráfico 15-3:</b>	Temperatura Pastillas de freno BPP3 Izquierda y Derecha vs Tiempo.....	51
<b>Gráfico 16-3:</b>	Comparativa de temperaturas entre las pastillas de freno BPP 1 ,2 y 3 rueda izquierda. ....	52
<b>Gráfico 17-3:</b>	Comparativa de temperaturas entre las pastillas de freno BPP 1, 2 y 3 rueda derecha. ....	52
<b>Gráfico 18-3:</b>	Gráfica de distancia de frenado y tiempo de accionamiento del pedal de freno con las pastillas de freno BBP 1, 2 y 3. ....	53
<b>Gráfico 19-3:</b>	Media de las temperaturas de las pastillas de freno Brake Pak (BPP). ....	54
<b>Gráfico 20-3:</b>	Media de la distancia de frenado y tiempo de accionamiento del pedal del freno en las pastillas de freno Brake Pak (BPP). ....	54
<b>Gráfico 21-3:</b>	Temperaturas medias entre las pastillas de freno Double Link Brake (DLBE) y Brake Pak (BPP) en la rueda izquierda delantera.....	55

<b>Gráfico 22-3:</b>	Comparativa de las temperaturas medias entre las pastillas de freno Double Link Brake (DLBE) y Brake Pak (BPP) en la rueda derecha.....	56
<b>Gráfico 23-3:</b>	Comparativa de las distancias de frenado y el tiempo de accionamiento del pedal de freno de las pastillas de freno Double Link Brake (DLBE) y Brake Pak (BPP). .....	56
<b>Gráfico 24-3:</b>	Gráfica de dispersión de temperatura y distancia de frenado de las pastillas DLBE y BPP .....	58
<b>Gráfico 25-3:</b>	Temperaturas medias entre las pastillas de freno DLBE y BPP en la rueda izquierda delantera. ....	62
<b>Gráfico 26-3:</b>	Comparativa de las temperaturas medias entre las pastillas de freno DLBE y BPP en la rueda derecha.....	62
<b>Gráfico 27-3:</b>	Comparativa de las distancias de frenado y el tiempo de accionamiento del pedal de freno de las pastillas de freno DLBE y BPP. ....	63

## ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** Código Arduino
- ANEXO B:** Circuito impreso PCB
- ANEXO C:** Diagrama de conexión
- ANEXO D:** Platina plano
- ANEXO E:** Tabla de temperaturas pastillas DLBE1
- ANEXO F:** Tabla de temperaturas pastillas DLBE2
- ANEXO G:** Tabla de temperaturas pastillas DLBE3
- ANEXO H:** Tabla de temperaturas pastillas BPP1
- ANEXO I:** Tabla de temperaturas pastillas BPP2
- ANEXO J:** Tabla de temperaturas pastillas BPP3
- ANEXO K:** Tablas de distancia de frenado y tiempo de accionamiento del pedal de freno de las pastillas DLBE
- ANEXO L:** Tablas de distancia de frenado y tiempo de accionamiento del pedal de freno de las pastillas BPP

## RESUMEN

El objetivo del presente estudio fue analizar la eficacia de frenado de un vehículo tipo sedán con sistema ABS, empleando dos marcas de pastillas de freno en función de su temperatura de trabajo. Para realizar el análisis, se creó un sistema electrónico de monitoreo de temperatura para un vehículo Chevrolet Sail 2018. Para el sistema de frenado se adaptó un sensor infrarrojo de captación de temperatura en las mordazas del freno, en los neumáticos delanteros del vehículo, dichos sensores se colocaron a 5mm de distancia de las pastillas de freno, los datos obtenidos mediante los sensores infrarrojos de temperatura fueron procesados en tiempo real a través de una tarjeta Arduino, para luego ser almacenados en una computadora. La investigación se basó en el sistema de freno, el cual involucró fenómenos termodinámicos provocados por la fricción entre el disco y las pastillas de freno, ya que este no tiene un comportamiento estable. Con la implementación del sistema de monitoreo, se observó cómo influye la temperatura de las pastillas en la eficiencia de frenado del automóvil. El estudio utilizó tres muestras de dos marcas de pastillas de freno: DBL y BREAK PACK. Con el fin de obtener los datos de temperatura de las pastillas de freno, se realizaron cinco ensayos de seguimiento en cada muestra seleccionada, estos ensayos se realizaron de acuerdo con la Norma ISO 21944:2007. De los resultados obtenidos, se puede ver que los cambios de temperatura de las pastillas de freno de la marca BREAK PACK disipan el calor de mejor manera, mejorando así la eficiencia de frenado, lo que demuestra la diferencia en los costes de comercialización. Es importante señalar que antes de poner en funcionamiento el sistema, se debe calibrar de manera óptima para evitar posibles incongruencias en la toma de datos.

**Palabras clave:** <EFICACIA DE FRENADO> <PASTILLAS DE FRENADO> <FRENOS ABS> <TIEMPO DE FRENADO> <DISTANCIA DE FRENADO> <DISCO DE FRENADO>.



0551-DBRA-UPT-2022

2022-03-30

## **SUMMARY**

The objective of this study was to analyze the braking efficiency of a sedan-type vehicle with an ABS, using two brands of brake pads based on their working temperature. An electronic temperature monitoring system was created for a Chevrolet Sail vehicle year 2018 to perform the analysis. An infrared sensor for capturing temperature was adapted to the brake calipers in the front tires of the vehicle for the braking system. These sensors were placed 5mm away from the brake pads. The obtained data through the infrared temperature sensors were processed in real-time employing an Arduino card and then stored in a computer. The investigation was based on the brake system, which involved thermodynamic phenomena caused by the friction between the disc and the brake pads since it does not have a stable behavior. It was observed how the pads temperature influences the braking efficiency of the car with the implementation of the monitoring system. The study used three samples from two brands of brake pads: DBL and BREAK PACK. To obtain brake pad temperature data, five follow-up tests were performed on each selected sample, these tests were performed by ISO 21944:2007. From the obtained results, it can be seen that the changes in temperature of the BREAK PACK brand of brake pads dissipate heat in a better way, thus improving braking efficiency, which demonstrates the difference in marketing costs. It is important to point out that before putting the system into operation, it must be optimally calibrated to avoid possible inconsistencies in data collection.

**Keywords:** <BRAKING EFFICIENCY> <BRAKE PADS> <ABS BRAKES> <BRAKING TIME> <BRAKING DISTANCE> <BRAKE DISC>.

## INTRODUCCIÓN

La función del sistema de frenos es ralentizar y detener el movimiento del vehículo en el menor tiempo posible cuando se aplica cierta fuerza al pedal del freno. La fuerza sobre el pedal del freno se transmitirá a las pastillas de freno y estas al disco de freno, el calor generado por el contacto entre las dos partes se disipa por radiación. El sistema de freno tiene que cumplir los requerimientos de eficacia, estabilidad y comodidad, así como el intercambio del peso que surge durante el frenado debe darse entre la ruedas delanteras y posteriores, teniendo en cuenta que esta distribución varía según las características de carga como es el caso del número de ocupantes y de equipaje (Gayol, 2020, p. 3-5).

El calor generado por la acción de frenado debe descargarse inmediatamente mediante la acción del aire en contacto con el sistema. Aunque el rango de velocidad y el tiempo de frenado son mayores, el tiempo para disipar el calor se reducirá, lo que hará que la temperatura del sistema aumente significativamente. Si la temperatura es superior a los 300° C ideales, provocará una disminución significativa en la eficiencia de frenado, deformación de componentes e incluso pérdida de frenado (PAÚL WILFRIDO MÉNDEZ TORRES, 2017, p. 148).

En nuestro país, debido a las rutas combinadas con desniveles muy empinados y tortuosos, además del cambio de altitud que se puede subir desde el nivel del mar hasta los 4.300 msnm ocasiona que se tenga que utilizar en reiteradas ocasiones el sistema de frenos. Por este motivo, el objetivo de este proyecto es observar las variaciones de temperatura que se producen en tres muestras de dos marcas distintas de pastillas de freno, las cuales serán sometidas a pruebas de pista en iguales condiciones.

## **CAPÍTULO I**

### **1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL**

En Ecuador, según datos del Instituto Nacional de Estadística y Censos (2018) a nivel nacional, existen 529.521 vehículos legalmente registrados en la subcategoría M1. En la actualidad no existe un estudio detallado del factor térmico en las pastillas de freno, pues esta variable es fundamental en la eficacia de frenado. Además, las rutas que conectan las principales ciudades del país combina pendientes muy pronunciadas y tortuosas, lo que hace que el sistema de frenado sea sobre exigido disminuyendo la eficacia de frenado.

Existe una gran cantidad de intercambios entre pastillas de freno de varias marcas y calidades. A pesar de que las pastillas de freno están diseñadas para mejorar la eficacia de frenado y reducir los accidentes de tránsito, a pesar de esto se desconoce el comportamiento de la eficiencia de frenado del vehículo a ciertas temperaturas de funcionamiento. El calentamiento muy rápido debido al frenado continuo, especialmente fuerte, genera almacenamiento de calor en los frenos, lo que puede resultar en una disminución de la eficacia durante el frenado (ACERO ANGAMARCA y CALDERÓN PERALTA, 2019, p. 7-17; Gil Martinez, 2016, p. 970).

#### **1.1. Justificación**

En el mercado nacional se comercializan una gran diversidad de pastillas de freno con diferentes materiales y de diferentes marcas, entre las más demandadas están las pastillas a base de carbono o de asbesto, por otro lado, están las pastillas de cerámica, semimetálicas, hasta las pastillas orgánicas de las cuales no hay estudios y/o análisis a profundidad de la eficacia de frenado a diferentes rangos de temperatura.

Según la ANT en el pasado año 2020 se ha registrado 11.488 siniestros, 9.114 lesionados y 1.085 fallecidos en sitios de alta concurrencia vehicular, de las cuales se contempla que estos accidentes suceden debido a daños mecánicos previsible y falla mecánica en los sistemas complementarios y/o neumáticos (sistema de frenos, dirección, electrónico o mecánico), dando a entender que unas de las causas de los accidentes es la deficiencia en el sistema de freno (Agencia Nacional de Tránsito, 2020, p. 1-5).

Hoy en día existen diferentes organismos y leyes que regulan los componentes que deben instalarse en los diferentes vehículos en función de las categorías existentes, como las características del circuito hidráulico del sistema de frenos, el tipo de bomba, y los demás componentes que forman parte del sistema en mención. Del mismo modo, también regulan las especificaciones de frenado, como la desaceleración, la fuerza del pedal y otras especificaciones, que deben cumplirse (Gil Martínez, 2016, p. 970).

El sistema de freno proporciona seguridad a los ocupantes del vehículo, y esta dependerá de la cualidad de los elementos que lo conforman, en este caso tiene como elemento principal el análisis de las distintas marcas de pastillas de freno (Velasquí Carrillo, 2015).

“Lo ideal de un material de fricción es mantener constante el coeficiente durante todo el tiempo de trabajo y con todas las variables que influyen sobre las pastillas, como temperatura, desgaste, etc. Lo complicado es mantener estable este valor debido a los cambios en el material” (Gutiérrez y Vinuesa Lozada, 2018, p. 188-203).

“Las pastillas de carbono están hechas por materiales compuestos de Carbono-Carbono, por lo general contienen fibras de carbono en una matriz que es principalmente de carbono con aditivos menores. Los frenos de Carbono-Carbono tienen una baja fricción en frío, pero una vez que se calienta mantienen una buena fricción a altas temperaturas” (Velasquí Carrillo, 2015).

“Las pastillas de cerámica y fibras de cobre, permite controlar la fatiga o tendencia del freno a debilitarse a temperaturas más altas y proporcionan una recuperación más rápida, luego de detener el vehículo, además de, crear menos polvo y desgaste, tanto de la pastilla como del disco” (Velasquí Carrillo, 2015).

Las pastillas semimetálicas según Velasquí Carrillo (2015) “están hechos de aproximadamente 30% a 65% de metal, y por lo general están hechos de lana de acero, alambre, de cobre o de otros materiales metálicos. Estos tipos de pastillas de freno se considera que son muy duraderos, pero también pueden desgastar los discos de freno más rápido. Además, las pastillas de freno semimetálicas no pueden funcionar bien en temperaturas muy bajas”.

“Arduino es una plataforma de desarrollo basada en una placa electrónica de hardware libre que incorpora un microcontrolador reprogramable y una serie de pines hembra. Estos permiten establecer conexiones entre el microcontrolador y los diferentes sensores y actuadores de una manera muy sencilla” (Silva Lima et al., 2020, p. 48-55).

Con base en lo anterior, esta investigación tiene como objetivo analizar la relación entre los datos de eficiencia de frenado y la temperatura de funcionamiento de las pastillas de freno con la ayuda de placas Arduino y sensores de temperatura infrarrojos, y obtener datos de temperatura en tiempo real a través de la programación. En esta comparación se analizará la distancia y el tiempo necesario para detener o desacelerar el vehículo en determinadas condiciones de conducción.

El desarrollo de este documento aportará de conocimientos claros y concisos a los estudiantes de la Carrera de Ingeniería Automotriz de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, acerca de las prestaciones que brindan cada tipo de marca de pastillas de frenos y el efecto que este tiene en la eficacia de frenado.

## **1.2. Objetivos**

### ***1.2.1. Objetivo general***

Analizar comparativamente la eficacia de frenado de un vehículo con sistema ABS subcategoría M1 utilizando dos diferentes marcas de pastillas de freno en función de su temperatura de trabajo empleando un sensor de temperatura infrarrojo.

### ***1.2.2. Objetivos específicos***

- Evaluar los factores que intervienen en la eficacia de frenado del sistema de freno de un vehículo.
- Implementar un sistema electrónico para la adquisición de datos de temperatura en las pastillas de freno delanteras mediante la utilización de sensores infrarrojos.
- Adquirir los datos de temperatura y distancia de frenado para conocer la eficacia de frenado de los dos tipos de pastillas seleccionadas.
- Cotejar los resultados de la eficacia de frenado extraídos entre las distintas marcas de pastillas de freno para poner en conocimiento cuál de estas dos marcas de pastillas de freno cumplen con los estándares de seguridad y eficacia.

### **1.3. Hipótesis**

#### ***1.3.1. Hipótesis nula (H<sub>0</sub>)***

La temperatura de las pastillas de freno no afecta directamente la distancia de frenado y consecuentemente en la eficacia de frenado.

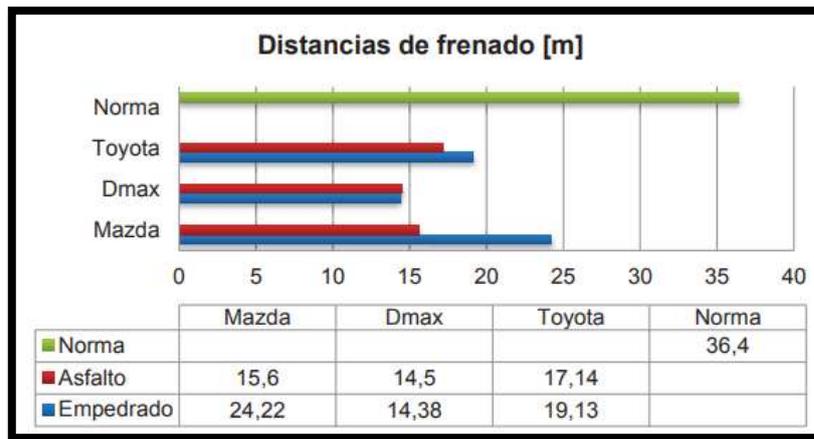
#### ***1.3.2. Hipótesis alternativa (H<sub>1</sub>)***

La temperatura de las pastillas de freno afecta directamente la distancia de frenado y consecuentemente en la eficacia de frenado.

### **1.4. Estado del arte**

#### ***1.4.1. Vehículos con sistemas ABS***

El sistema ABS se ve afectado por el tipo de material utilizado en la construcción de las vías, ya que estas tienen diferentes coeficientes de adherencia, pero en el caso del asfalto y empedrado estos valores casi llegan a ser similares y según la regulación EC 13-H debe de tener un coeficiente de 0,8. Cuando se realiza la comparativa entre estas dos tipos de vías se puede notar que el coeficiente de rozamiento es mayor en la vía de asfalto y por ende este posee un mayor coeficiente de adherencia, es por ello que en el Gráfico 1-1, se observa claramente las diferencias de distancias que los vehículos sometidos a prueba necesitaron para detenerse (Reyes Campaña y Tamayo Benavides, 2015, p. 185).



**Gráfico 1-1:** Distancia de frenado de los vehículos de pruebas con ABS.

**Fuente:** (Reyes Campaña y Tamayo Benavides, 2015, p. 185).

#### 1.4.2. Disco de freno

En un estudio realizado por Olipeg se comprobó el efecto de fricción que provocan las pastillas de freno sobre el disco de freno, se observó que el disco de freno perforado se calentaba más rápido que el disco de freno macizo, pero su particularidad era que disipan el calor rápidamente. También demuestra que la temperatura de las pastillas de freno es superior a la temperatura de los discos de freno, lo que indica que, si se quiere obtener una mejor eficacia de frenado, los materiales de las pastillas de freno y los discos de freno deben ser de buena calidad (PAÚL WILFRIDO MÉNDEZ TORRES, 2017, p. 148).

MÉNDEZ TORRES y MUÑOZ LLIVICHUZHCA indican lo siguiente:

*“El disco perforado como tiene menos material en la superficie de fricción contra la pastilla se calienta mucho más que en el disco macizo. El disco perforado lleva aire frío a la pastilla y a la superficie del disco, lo que ayuda a enfriar la temperatura de la pastilla al tener contacto, los discos perforados tienen una mayor ventilación por lo que se enfrían más rápido”* (PAÚL WILFRIDO MÉNDEZ TORRES, 2017, p. 148).



**Figura 1-1:** Tipos de discos de freno.

**Fuente:** <https://como-funciona.co/wp-content/uploads/2018/09/discos-de-freno-tipos-y-funcionamiento.jpg>.

#### *1.4.2.1. La fricción*

Cuando se desplaza un cuerpo y este está con contacto con otro, se evidencia una fuerza invisible llamada fricción, dicha fuerza se opone a su movimiento. Por lo tanto, la fricción sobre el objeto es opuesta a su movimiento con respecto a la superficie.

La fricción es una fuerza tangencial, paralela a la superficie de contacto. Hay dos tipos de fricción: estática y dinámica, pero en este caso será estática.

La fuerza de fricción estática es la reacción de un cuerpo en reposo “pastillas de freno” frente al deslizamiento sobre una superficie diferente “disco de freno” (Pérez Montiel, 2016, p. 283-284,180).

#### *1.4.3. Pastillas de freno*

Las pastillas de freno son un elemento importante de un sistema de freno de disco, por su trabajo y las altas temperaturas que soportan, deben tener propiedades especiales que ayuden a su normal funcionamiento. Las pastillas de freno son las encargadas de convertir la energía cinética generada por los discos de freno en energía térmica, que no se perderá hasta que el vehículo se pare por completo. Cabe destacar que el pistón es el encargado de empujar las pastillas de freno hacia el disco del freno (Paludi, 2017, p. 13).



**Figura 2-1:** Pastillas de freno

**Fuente:** [http://kashima.campuseina.com/pluginfile.php/10422/mod\\_book/chapter/9459/Pastillas%20de%20freno.jpg](http://kashima.campuseina.com/pluginfile.php/10422/mod_book/chapter/9459/Pastillas%20de%20freno.jpg)

#### 1.4.3.1. Composición de una pastilla de frenos

Según Martínez Pilamunga y Toasa Toapanta (2019, p. 30-31), “la mayoría de las pastillas de frenos existentes en el mercado basan su composición en la utilización de los siguientes compuestos: las fibras, cargas minerales, componentes metálicos, lubricantes o modificadores, materiales orgánicos, abrasivos”.

En la Tabla 1-1, se puede observar detalladamente los porcentajes de los materiales y elementos utilizados en la elaboración de una pastilla de freno:

**Tabla 1-1:** Porcentaje de composición de pastillas de frenos

CONSTITUCIÓN DE PASTILLAS DE FRENOS		
Material	Elementos	Porcentaje
Cargas Minerales	Talco, magnesita, feldespato.	27%
Materiales Orgánicos	Resinas fenólicas, resinas epoxis.	20%
Lubricantes	Grafito, antracitas, sulfuros.	20%
Metales	Cobre o bronce	15%
Fibras	Fibra de carbono, fibra de vidrio, lana de roca o fibras orgánicas	10%
Abrasivos	Óxido de aluminio	8%
<b>Total</b>		<b>100%</b>

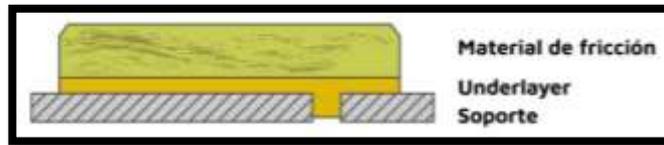
**Fuente:** (MARTINEZ y TOASA, 2019, p. 30-31)

#### 1.4.3.2. Underlayer

Para una mejor compresion Falasca define underlayer como:

*“Una capa de material cuya función es la de fijar el material de fricción en el soporte además de reducir la temperatura que llega al cáliper. Esta capa de material tiene su*

*propia formulación, ya que no tiene los requerimientos que del material de fricción se esperan, sino que sus funciones son las de unir la capa de material de fricción al soporte además de variar la conductividad térmica del material de fricción para que el calor no pase a través de ella y no se caliente el líquido de freno en el caso de materiales de fricción con una alta conductividad térmica” (Falasca, 2016, p. 36).*

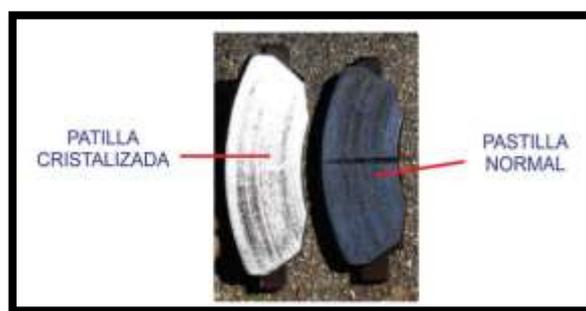


**Figura 3-1:** Pastilla de freno con underlayer

Fuente: [https://www.academia.edu/7457719/Manual\\_tecnico\\_pastillas\\_freno](https://www.academia.edu/7457719/Manual_tecnico_pastillas_freno)

#### 1.4.3.3. *Cristalización de las pastillas de freno*

Cuando el vehículo está funcionando con alta aceleración y realizando frenadas bruscas repetidas, se producirá la cristalización de la pastilla, lo que provoca que la temperatura de la pastilla supere los 400° C. La cristalización se produce a consecuencia del quemando de los compuestos orgánicos de la pastilla, donde estas pasan a un estado líquido debido a la alta temperatura, se procederá a la carbonización, y luego se formará una película delgada y brillante entre el disco y las pastillas de freno, lo que tendrá un impacto negativo en el coeficiente de fricción, reduciendo así su rendimiento (PAÚL WILFRIDO MÉNDEZ TORRES, 2017, p. 148).



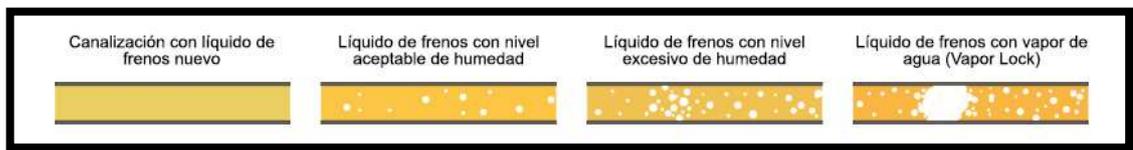
**Figura 4-1:** Cristalización de la pastilla

Fuente: (PAÚL WILFRIDO MÉNDEZ TORRES, 2017, p. 148)

#### 1.4.4. Líquido de freno

Debido a la presencia y acumulación de humedad en el líquido de freno, este se degradará haciendo que su punto de ebullición disminuya, por lo que el fabricante recomienda reemplazarlo dentro de los 18 a 24 meses. Cuando se activan los elementos de frenado del sistema de freno, generan energía en forma de calor, que puede alcanzar temperaturas de hasta 600°C debido a la fricción, y el líquido de freno puede llegar a absorber una parte de ese calor, por lo que debe tener características que ayuden a disiparlo (KASHIMA UNIVERSITY, 2019).

Según KASHIMA UNIVERSITY (2019, p. 1), “la absorción de humedad reduce el punto de ebullición del líquido, desencadenando la formación de burbujas de vapor de agua. Este fenómeno se conoce como Vapor Lock y se identifica por provocar un tacto esponjoso del pedal de freno y un mayor recorrido de este”.



**Figura 5-1:** Representación del efecto de acumulación de humedad en el líquido de freno

**Fuente:** [http://kashima.campuseina.com/pluginfile.php/10398/mod\\_book/chapter/9375/Vapor%20Lock.jpg](http://kashima.campuseina.com/pluginfile.php/10398/mod_book/chapter/9375/Vapor%20Lock.jpg)

##### 1.4.4.1. Medición del punto de ebullición

Para medir la ebullición se utiliza un instrumento llamado higrómetro, el cual se inserta en el depósito del líquido de freno, pero antes se debe extraer una muestra de líquido del purgador delantero ya que estos son los que se encuentran sometidos a temperaturas elevadas y por lo cual en donde se produce un deterioro mayor. Este instrumento se encarga de elevar la temperatura del líquido de freno hasta llegar al punto de ebullición, la cual queda registrada en la pantalla del instrumento y se procede a realizar una comparación con el valor mínimo aceptable.



**Figura 6-1:** Utilización del Higrómetro

**Fuente:** [http://kashima.campuseina.com/pluginfile.php/10398/mod\\_book/chapter/9375/Hidr%C3%B3metro.jpg](http://kashima.campuseina.com/pluginfile.php/10398/mod_book/chapter/9375/Hidr%C3%B3metro.jpg)

A continuación, se observará en la Tabla 2-1, los rangos de valores para determinar el estado del líquido de freno y verificar la temperatura de ebullición:

**Tabla 2-1:** Tabla de comprobación de la temperatura de ebullición

TEMPERATURA DE EBULLICIÓN	ESTADO DEL LÍQUIDO DE FRENOS
Superior a 175°C	Líquido de frenos en buen estado
Entre 165 °C y 175 °C	Líquido admisible pero se recomienda su sustitución
Por debajo de 165°C	Líquido en mal estado, cambio imperativo

**Fuente:** (KASHIMA UNIVERSITY, 2019)

#### 1.4.4.2. Medición del grado de humedad

Para medir la humedad se utiliza un medidor de humedad, que prueba la conductividad del líquido de frenos y da los resultados a través de luces LED para mostrar el contenido de agua del líquido de frenos en el depósito (KASHIMA UNIVERSITY, 2019).



**Figura 7-1:** Utilización del comprobador de humedad

Fuente: <http://www.roian.cl/home/wp-content/uploads/2019/01/tcon43.jpg>

#### 1.4.5. Temperaturas en el sistema de freno

##### 1.4.5.1. Influencia de la Temperatura de los Frenos

En la prueba sobre la distancia de frenado, se utiliza una prueba estadística para asegurar una confiabilidad del 95%. Al realizar pruebas en la pastilla de freno a una temperatura entre 25°C y 35°C, se observó que la distancia de frenado fue menor en relación con el aumento de temperatura entre 45°C y 60°C, estas pruebas indicaron que hubo una diferencia en la distancia para detenerse debido a la temperatura.

Con estos antecedentes queda demostrado como sufre una alteración el sistema de freno con referente a la efectividad de reducir la velocidad y detener el movimiento del vehículo, del mismo modo se puede deducir que la temperatura de los frenos es directamente proporcional a la distancia de frenado (Paludi, 2017, p. 13).



**Gráfico 2-1:** Comparación de promedios de distancias de frenado

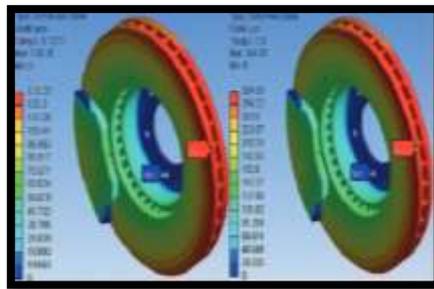
Fuente: (Paludi, 2017, p. 13)

#### 1.4.5.2. *Temperatura en pastillas y disco de freno*

Según la investigación de Rodríguez García y Nieto Sánchez (2017, p. 76), su objetivo de investigación es analizar el comportamiento de los frenos de disco y las pastillas de freno cuando están en contacto, por lo que se utilizó el software de simulación ANSYS 11.0 para observar el comportamiento de los discos de freno con el sistema de presión de pastillas, dando como resultado que la temperatura termo mecánica aumenta directamente con la presión cuando estas entran en contacto seco. En el proceso de frenado en seco del vehículo, la presión que ejercen las pastillas y el aumento de temperatura provocan que el disco presente deformaciones que afectan el normal funcionamiento del sistema.

Por tanto, la temperatura se puede disipar mediante ondas de calor en un rango de 300°C a 800°C, la conductividad térmica en el disco es mayor, mientras que la conductividad térmica en las pastillas de freno es menor.

Entonces, se asume que la fluctuación de la temperatura puede elevarse debido a la fricción que ocurre entre el disco y las pastillas de freno, consecuentemente logra alcanzar temperaturas muy altas de hasta los 800°C, y esto se debe informar en tiempo real en el vehículo generando así alerta temprana para evitar posibles accidentes por sobrecalentamiento del sistema mismo (Rodríguez García y Nieto Sánchez, 2017, p. 76).



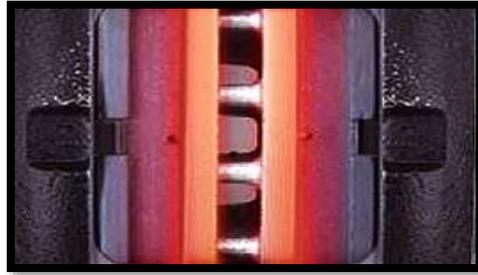
**Figura 8-1:** Deformación del disco debido a las altas temperaturas.

**Fuente:** (Belhocine y Afzal, 2019, p. 280-296)

#### 1.4.5.3. *Conductividad térmica entre pastillas y soporte metálico*

Según Falasca (2016, p. 36), la conductividad térmica entre la pastillas y el soporte metálico debe ser capaz de evacuar el calor hacia el exterior de la pastilla, esta disipación de calor debe ser controlada debido a que si llega a entrar en contacto con el soporte metálico, y el calor transmitido

puede provocar que el líquido de freno entre en un estado de ebullición y como consecuencia de este fenómeno se tendrá como resultado pérdidas de eficacia de frenada. En pastillas semimetálicas la conductividad térmica es mejor debido a los conductores metálicos que están presentes en su fabricación, debido a este inconveniente se coloca una subcapa de underlayer que evita transferencia de calor al líquido de freno y así evitar la ebullición. En pastillas con características de construcción orgánicas el problema de conductividad es menor es por ello se optan por no usar una subcapa de underlayer.



**Figura 9-1:** Conducción térmica entre pastilla y soporte metálico

**Fuente:** [http://kashima.campuseina.com/pluginfile.php/10422/mod\\_book/chapter/9459/fading%20pastillas%20y%20discos.jpg](http://kashima.campuseina.com/pluginfile.php/10422/mod_book/chapter/9459/fading%20pastillas%20y%20discos.jpg)

#### **1.4.6. Factores que interviene en la eficacia de frenado**

El grado importante de medir el rendimiento del sistema de frenado es la eficacia: el vehículo debe dejar de desplazarse en el menor tiempo posible aplicando una fuerza razonable en el pedal para detenerse. Se cuantifica por la desaceleración que se produce durante todo el proceso de frenado. Además, se estima que cuando la deceleración medida es igual a la aceleración gravitacional ( $9,8 \text{ m/s}^2$ ), que también se expresa como 1G, la eficiencia del sistema de frenado puede llegar al 100%. (SN, 2020, p. 1).

##### **1.4.6.1. Deceleración**

Según KASHIMA UNIVERSITY (2020), “cuando el cálculo de la deceleración de un vehículo resulta inferior a  $9,8 \text{ m/s}^2$  se obtiene una eficacia de frenado inferior al 100% y si la deceleración es superior como resultado se obtiene también una eficacia superior al 100%. La eficacia de frenado 100% no es la máxima posible, tan solo un valor arbitrario consensuado a nivel mundial.”

### 1.4.6.2. Energía cinética

El efecto de la energía cinética se da de la siguiente forma: a mayor peso se deberá aplicar una mayor fuerza de frenado, del mismo modo que fue necesaria más energía para lograr la velocidad. Por ejemplo, la fuerza requerida para detener un automóvil de 1500 kg y un camión de 3000 kg a una velocidad de 30 km/h (8,33 m/s) será diferente. Para detener el camión, la fuerza de frenado debe duplicarse (SN, 2020, p. 1).

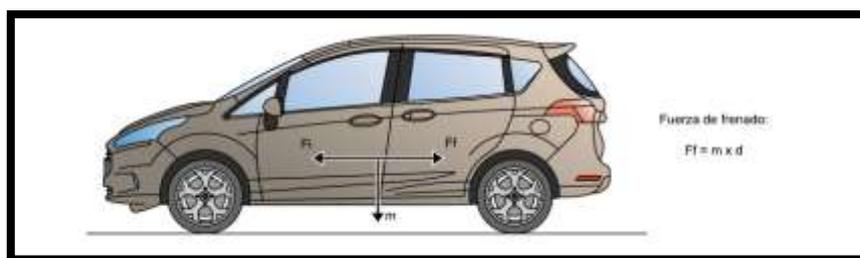


**Figura 10-1:** Efecto de la masa de un automóvil sobre la energía cinética

Fuente: (SN, 2020, p. 1)

### 1.4.6.3. Fuerza de frenado

Criado Ocaña (2012, p. 248) indica que: “Al pisar el pedal de freno, la fuerza de frenado que debe aplicarse para anular la fuerza de impulsión, en este caso la fuerza de inercia, depende directamente de la oposición de la fuerza de rozamiento”. De esto se puede decir que cuando el conductor realiza la acción de pisar el pedal del freno, la velocidad del vehículo comienza a disminuir, y como ya no se pisa el acelerador, el desplazamiento restante se atribuye a la inercia generada por la marcha del vehículo (Criado, 2012, p. 248).



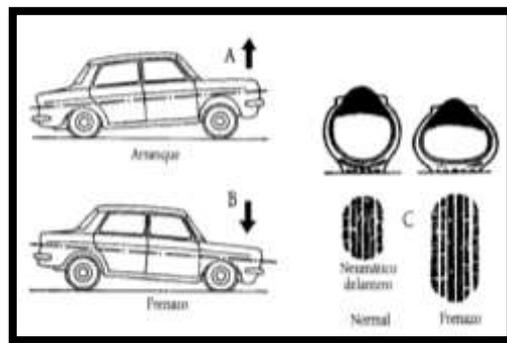
**Figura 11-1:** Representación y fórmula de la fuerza de frenado

Fuente: (SN, 2020, p. 1)

#### 1.4.6.4. Transferencia de pesos

El esfuerzo de frenado debe distribuirse en medio de las ruedas delanteras y posteriores de acuerdo con el peso de tolerancia, este peso cambia según en qué posición se encuentre el motor, cantidad y disposición de los ocupantes además del equipaje (Bauzá, 2018, p. 2-3).

Como se puede ver en la Figura 12-1, al acelerar el vehículo el peso tiende a apuntar directamente a la parte trasera del vehículo (A), por lo que al frenar ocurre lo contrario y el peso se redistribuye hacia el frente y el peso de la parte trasera del vehículo es insuficiente. Según donde se ubique la carga, los neumáticos tienden a poseer más adherencia, debido a que se comprimen como se puede apreciar en (C). Por lo mencionado anteriormente los frenos se ubican de forma que su trabajo sea más intenso en las ruedas delanteras, debido a mientras mayor sea su adherencia al suelo, estas no sufrirán un bloqueo. La frenada es eficaz a medida que las ruedas no se bloqueen (Bauzá, 2018, p. 2-3).



**Figura 12-1:** Reparto de frenado

**Fuente:** (Bauzá, 2018, p. 2-3)

#### 1.4.6.5. Superficie de contacto

En el sistema de frenos, generalmente se refiere a la superficie de fricción entre la pastilla y el disco de freno, por lo tanto, cuanto mayor es la superficie de contacto, mayor es la fuerza de frenado. En el caso de pastillas de freno y discos de freno, si se reduce el área de contacto, la temperatura en el área de fricción aumentará debido a la reducción de la superficie de transferencia de calor, reduciendo así su eficiencia (SN, 2020, p. 1).

#### 1.4.6.6. Coeficiente de fricción

La fricción es un factor fundamental en el sistema de frenos ya que este determina la calidad de frenado de un vehículo, a su vez el coeficiente de fricción es variable y diferente para cada tipo de material y este se ve afectado por la temperatura, entre más temperatura adquiera el material, menor será su coeficiente de fricción (BrakeOne, 2018).

Cabe destacar que el coeficiente de fricción está relacionado con el material en contacto, por lo que también depende del material del disco de freno, no solo de la pastilla de freno (BrakeOne, 2018).

El coeficiente de fricción en las pastillas de freno está regulado por el Departamento de Transporte de EE. UU. (DOT) y las abreviaturas utilizadas son las siguientes:

**Tabla 3-1:** Clasificación DOT

Clasificación DOT	Coeficiente de Fricción (Rango)
E	0.25 a 0.35
F	0.35 a 0.45
G	0.45 a 0.55
H	0.55 a 0.65

Fuente: (BrakeOne, 2018)

Nomenclatura típicamente usada en patillas freno:

**Tabla 4-1:** Nomenclaturas para pastillas de freno

Rangos	Coeficiente de fricción en frío	Coeficiente de fricción en caliente
EE	0.25 a 0.35	0.25 a 0.35
FE	0.35 a 0.45	0.25 a 0.35
FF	0.35 a 0.45	0.35 a 0.45
<u>GF</u>	0.45 a 0.55	0.35 a 0.45
<u>GG</u>	0.45 a 0.55	0.45 a 0.55
<u>HH</u>	0.55 a 0.65	0.55 a 0.65

Fuente: (BrakeOne, 2018)

#### *1.4.6.7. Coeficiente de adherencia*

La Adherencia se define como “la habilidad de movilizar las fuerzas de fricción del contacto entre neumático y pavimento por efecto de las sollicitaciones inducidas por el proceso de conducción, tales como aceleración, frenadas y vibrantes” (Subdepartamento de Auscultaciones y Prospecciones, 2016, p. 3).

La adherencia ayuda a que el vehículo conserve su trayectoria en cualquier circunstancia, sobre todo en los virajes, además ayuda a reducir las distancias de frenado favoreciendo las maniobras de recuperación de la trayectoria (Subdepartamento de Auscultaciones y Prospecciones, 2016, p. 3).

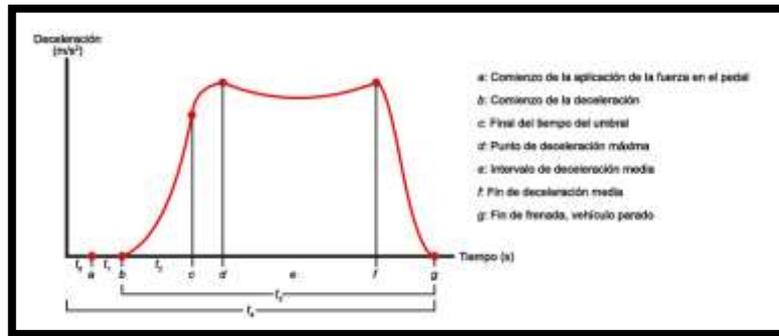
#### *1.4.6.8. Aerodinámica*

Criado Ocaña (2012, p. 248) afirma “En el recorrido el auto se produce la fuerza aerodinámica, ésta tiene interés como fuerza retardadora en velocidad alta, la velocidad moderada puede perderse a los valores de las fuerzas de frenados”. Mientras que Chiroque Chávez (2020) indica que “Esa fuerza aerodinámica es importante en velocidad superior y sus valores aumentan la velocidad mediante los desplazamientos del automóvil”.

#### *1.4.6.9. Distancia y tiempo de frenado*

Se puede definir la distancia de frenado como "el espacio de viaje del vehículo desde el inicio del frenado hasta la parada completa del vehículo" (SN, 2020, p. 1). El valor de distancia de frenado se puede calcular teniendo los datos de velocidad y deceleración, quedando como repuesta un valor expresado en metros y esperando que dicho valor sea la menor posible.

El tiempo de frenado según KASHIMA UNIVERSITY (2018), “es el tiempo total que necesita el conductor para detener el vehículo completamente”. Este valor se puede obtener dividiendo la velocidad entre la deceleración y queda expresado en segundos.



**Figura 13-1:** Gráfica de tiempos de frenado

Fuente: (SN, 2020, p. 1)

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO METODOLÓGICO

En el presente capítulo se dará una explicación detallada de los métodos y herramientas empleados para el análisis de la problemática de investigación.

#### 2.1. Estructura del marco metodológico

**Tabla 5-2:** Estructura del marco metodológico

<b>1. CIRCUITO ELECTRÓNICO PARA TOMA Y ADQUISICIÓN DE DATOS</b>	<b>1. DISPOSITIVO PARA ADQUISICIÓN DE TEMPERATURA</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Búsqueda de sensor de temperatura accesible y disponible en el mercado local</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verificar la eficacia del sensor MLX90614 para la adquisición de datos</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Elección del sensor MLX90614</li> </ul>
	<b>2. DISPOSITIVO PARA DECODIFICACIÓN DE DATOS</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Búsqueda de dispositivo para decodificación de datos accesible y disponible en el mercado local</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verificar la eficacia del módulo Arduino Uno para la decodificación de datos</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Elección del módulo Arduino Uno</li> </ul>
	<b>3. DISPOSITIVO PARA ALMACENAMIENTO DE DATOS</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Búsqueda de dispositivo para almacenamiento de datos accesible y disponible en el mercado local</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verificar la compatibilidad del portátil Core i3 con el módulo Arduino mega para el almacenamiento de datos</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Elección de un portátil Core i3 para el almacenamiento de datos</li> </ul>
	<b>4. PROGRAMACIÓN DE CÓDIGO FUENTE</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conexiones electrónicas de los dispositivos a emplearse</li> <li>• Codificación de código fuente compatible con dispositivos a emplearse</li> <li>• Verificación de código fuente con las conexiones electrónicas</li> </ul>	
<b>2. PASTILLAS DE FRENO</b>	<b>1. ADAPTACIÓN DE CIRCUITO ELECTRÓNICO</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Adaptación del circuito electrónico en el vehículo Chevrolet Sail 2018</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verificación del correcto funcionamiento del circuito electrónico</li> </ul>

<b>3. ADQUISICIÓN E INTERPRETACIÓN DE DATOS</b>	<b>2. ELECCIÓN DE PASTILLAS DE FRENO</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Indagar a cerca de las 2 pastillas de freno del vehículo Chevrolet Sail más demandadas en el mercado local</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Adquisición de pastillas de freno</li> </ul>
	<b>1. PRUEBAS DE PISTA</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Elección de norma ISO 21944:2007 para pruebas de pista</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Elección de pista para pruebas</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Realización de pruebas</li> </ul>
	<b>2. ADQUISICIÓN DE DATOS</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Toma de datos de temperatura de las pastillas de freno</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Medición de la distancia de frenado del vehículo</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Toma de datos del tiempo de frenado total del vehículo</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Agrupación de datos obtenidos</li> </ul>
	<b>3. INTERPRETACIÓN DE DATOS</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Organizar los datos obtenidos en pruebas de pista</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Interpretación de los datos obtenidos estadísticamente</li> </ul>	

**Realizado por:** Ochoa F. & Uchupanta B., 2020.

## 2.2. Diseño metodológico

Para el desarrollo de esta investigación, se pretende indagar acerca de las pastillas de freno que se comercializa localmente en la ciudad de Quito. Este vehículo será probado en pista de acuerdo con la norma ISO 21944: 2007, que “prescribe un método de prueba de circuito abierto que utiliza un sistema de frenos antibloqueo para determinar la distancia de frenado del vehículo durante las operaciones de frenado en línea recta con el ABS totalmente activado”. Esta Norma Internacional se aplica a los automóviles de pasajeros, tal como se definen en la norma ISO 3833, y a los camiones ligeros” (Iso, 2007).

### 2.2.1. Tipo de investigación

En el presente trabajo se lo desarrollo en base a una investigación experimental ya que se replicará varias veces la maniobra de frenado del vehículo para observar el grado en que las variables implicadas afectan a la eficacia de frenado, y también será cuantitativa ya que se obtendrá mediciones de: temperatura, tiempo y distancia de frenado. Para finalizar se utilizó un método empírico ya que todos los datos obtenidos se lograron gracias a la experimentación de maniobras de frenado.

### *2.2.1.1. Cuantitativa*

La investigación cuantitativa se utiliza para la adquisición de los datos de esta investigación, así como para el análisis e interpretación de los resultados, utilizando variables cuantificables, y mostrará los resultados de manera estadística (Castillero Mimeza, 2018, p. 1-15).

Las variables para considerar en este estudio son las siguientes: temperatura de la pastilla de freno, distancia de frenado, tiempo de accionamiento del pedal de freno.

### *2.2.1.2. Experimental*

La investigación experimental tiene un enfoque científico, donde un grupo de variables se mantendrán constantes, a su vez que el otro grupo de variables se miden como sujeto de experimento (QuestionPro, 2018).

### *2.2.1.3. Empírico*

Este método emplea la observación de un fenómeno y se plantea una hipótesis para luego experimentarla y llegar a una conclusión (Arlen Cerón, Perea de la Fuente y Figueroa Velázquez, 2020, p. 9-12).

## **2.2.2. Población y muestra**

### *2.2.2.1. Población*

La población de este estudio se determinó con base en el costo de las pastillas de freno correspondientes para el vehículo Chevrolet Sail 2018, los cuales se comercializan en diferentes locales comerciales especializados en autopartes y sistemas de frenos en la ciudad de Quito.

### 2.2.2.2. Muestra

A falta de una base de datos adecuada sobre el precio de las pastillas de freno correspondientes para los vehículos Chevrolet Sail 2018 vendidos en Quito. La muestra quedo constituida por dos tipos de pastilla de freno con el costo de: 15 dólares estadounidenses y 40 dólares estadounidenses de las marcas DLB y BRAKE PAK respectivamente, de las cuales se elegirá tres muestras al azar de mismo lote de fabricación.

### 2.2.2.3. Tipo de muestreo

El método para la selección de muestra se la realizo mediante una muestra no probabilística de tipo conveniencia o intencional.

No probabilística: Se hace mención de que el proceso de selección no brinda a todos los individuos de la población la misma oportunidad de ser seleccionados.

Tipo conveniencia o intencional: Se hace mención de que la muestra es seleccionada en base al propósito del estudio.

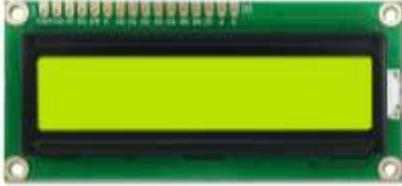
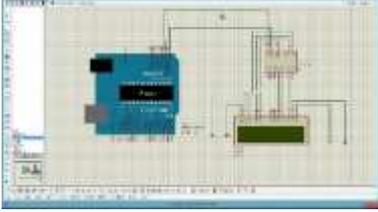
## 2.3. Materiales y métodos

### 2.3.1. Equipos para la obtención de datos

A continuación, se describe en la Tabla 2-2, la lista de los diferentes materiales y equipos utilizados para la obtención de los datos de temperaturas para la investigación.

**Tabla 6-2:** Materiales y equipos utilizados para obtención de datos de temperatura

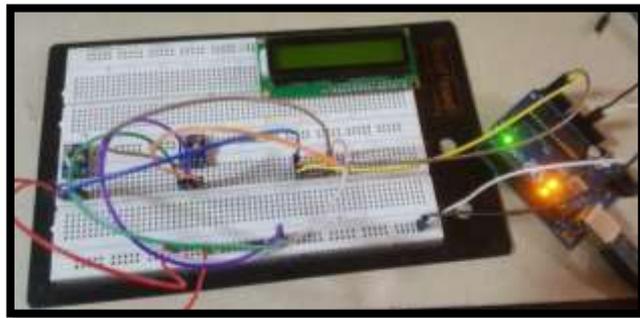
MATERIALES / EQUIPOS	FIGURA	DESCRIPCIÓN
Sensor de temperatura infrarrojo MLX90614		El MLX90614 es un sensor de temperatura infrarrojo, el cual se puede conectar a una placa Arduino para medir la temperatura de un objeto a distancia (Luis, 2020) .

<p>Arduino Uno</p>		<p>Arduino Uno es una placa microcontrolador que tiene 14 pines digitales de entrada/salida las cuales se utilizan como salidas PWM, y entradas analógicas, posee una conexión USB, un pin de alimentación y un botón de reinicio (Admin, 2021).</p>
<p>LCD 16X2</p>		<p>El LCD es un dispositivo empleado para la visualización de contenidos o información de una forma gráfica, mediante caracteres o símbolos. Está gobernado por un microcontrolador el cual dirige todo su funcionamiento (Willyfox, 2013, p. 4-9).</p>
<p>Protoboard</p>		<p>Un protoboard es una placa de pruebas en los que se pueden insertar elementos electrónicos, permite probar los diseños de un circuito sin la necesidad de soldar o desoldar componentes (330ohms, 2016).</p>
<p>Proteus</p>		<p>Proteus es software que permite la construcción de equipos electrónicos, así mismo, facilita el diseño del esquema electrónico, programación, construcción de la placa y simulación (HUBOR, 2015).</p>
<p>Arduino IDE</p>		<p>El software de código abierto Arduino (IDE) facilita la escritura de código de programación y la carga en la placa. Este software se puede utilizar con cualquier placa Arduino (Arduino.cc, 2019).</p>
<p>Cable USB Tipo AB</p>		<p>Este es un cable común tipo A/B macho. Compatible con las tarjetas USB que requieran este tipo de conector. Es un cable ideal para programar el Arduino Uno o el Arduino Mega2560 a través del puerto USB del computador (Tdrobotica, 2020).</p>

Realizado por: Ochoa F. & Uchupanta B., 2020.

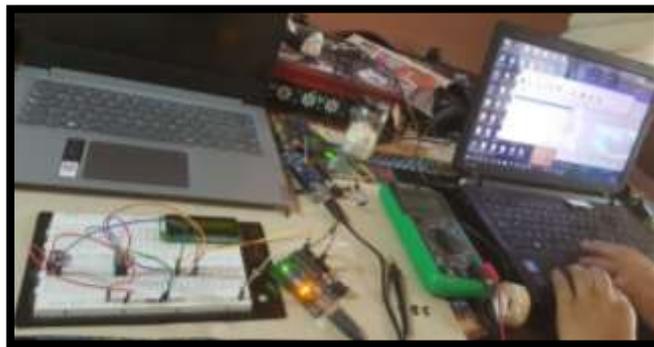
### 2.3.2. Conexiones del circuito

En esta sección, se recopilará información sobre la conexión del sensor de temperatura MLX90614 a la placa Arduino Uno, al igual para realizar las conexiones para el display LCD 16X2, estas conexiones se las realiza con ayuda de una tarjeta de prueba “protoboard” la cual da la facilidad de conectar y desconectar los diferentes componentes electrónicos, al igual que permite modificar los circuitos sin tener ningún inconveniente, además de realizar las pruebas necesarias hasta obtener el diseño final del circuito eléctrico a emplearse.



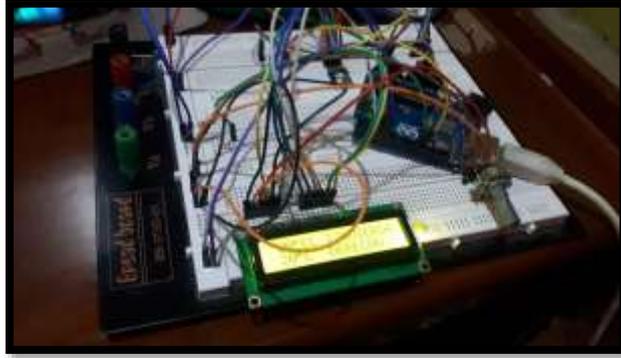
**Figura 14-2:** Pruebas de conexión entre los componentes electrónicos

**Realizado por:** Ochoa F. & Uchupanta B., 2020.



**Figura 15-2:** Prueba de comunicación entre el PC y los componentes electrónicos

**Realizado por:** Ochoa F. & Uchupanta B., 2020.

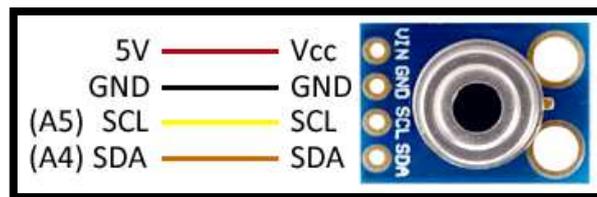


**Figura 16-2:** Prueba final de funcionamiento del circuito

**Realizado por:** Ochoa F. & Uchupanta B., 2020.

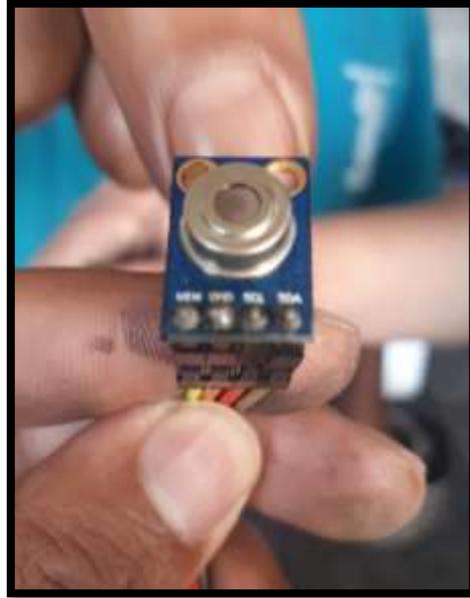
### 2.3.2.1. Sensor de temperatura MLX90614

Para el sensor de temperatura infrarrojo MLX90614, tiene 4 pines de conexión, como se muestra en la Figura 4-2, cada pin se conecta a la tarjeta Arduino siendo VCC y GND los pines de alimentación, por otra parte, los pines SCL y SDA son los encargados de enviar las señales obtenidas por el sensor infrarrojo a la tarjeta Arduino mediante los pines A5 y A4.



**Figura 17-2:** Diagrama de conexión del sensor MLX90614

**Fuente:** <https://www.luisllamas.es/wp-content/uploads/2016/10/arduino-sensor-temperatura-infrarrojo-MLX90614-esquema.png>

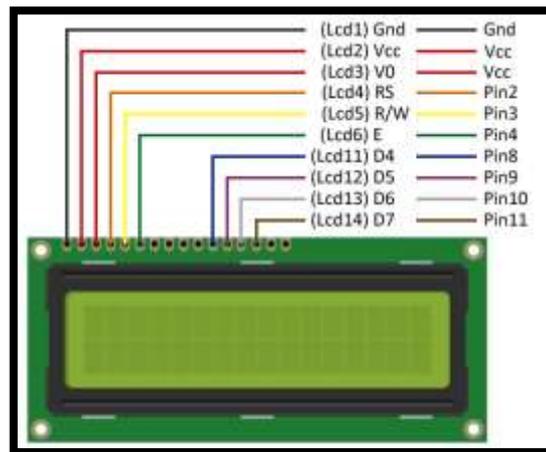


**Figura 18-2:** Conexión del sensor según el diagrama para su funcionamiento

Realizado por: Ochoa F. & Uchupanta B., 2020.

### 2.3.2.2. LCD 16X2

El LCD 16X2 posee 16 pines de conexión, al igual que el caso anterior cada pin del LCD se deberá conectar hacia los pines de la tarjeta Arduino tal cual se muestra en la Figura 6-2.



**Figura 19-2:** Diagrama de conexión del LCD 16X2

Fuente: <https://www.luisllamas.es/wp-content/uploads/2016/04/arduino-lcd-hitachi-hd44780-esquema.png>

### 2.3.3. Programación Arduino IDE

Para realizar la programación del código se utilizará el Arduino IDE, el cual ayudará a intercambiar la dirección del sensor de temperatura, en este caso el comando Slave Address, que permitirá cargar el código para lograr el correcto funcionamiento del sensor MLX90614 y LCD 16X2.



**Figura 20-2:** Programación con Arduino IDE

Realizado por: Ochoa F. & Uchupanta B., 2020.

#### 2.3.3.1. Programación sensor MLX90614

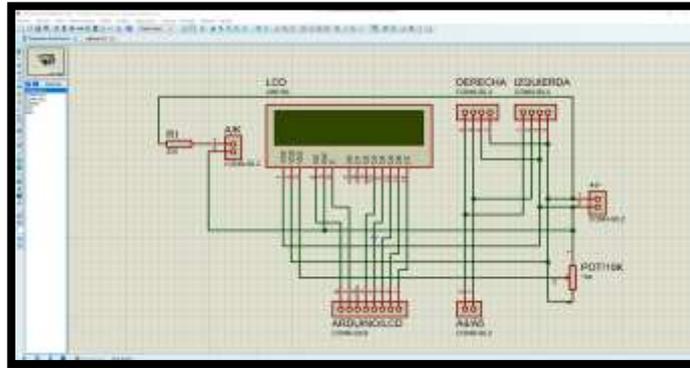
Para el correcto funcionamiento del sensor MLX90614 se deberá cambiar las direcciones de los dos sensores en este caso serán los Slave Address, esto permitirá adquirir los datos de los sensores sincrónicamente, esto se da debido a que la tarjeta Arduino solo posee un pin para SDA y un pin para SCL, para este procedimiento se debe cargar primero la librería I<sup>2</sup>Cmaster.

#### 2.3.3.2. Programación del LCD 16X2

Para el LCD 16X2 se deberá cargar la librería `LiquidCrystal_I2C`, la cual permitirá la comunicación entre el LCD y el Arduino ayudando a visualizar los valores de temperatura que registran los sensores MLX90614.

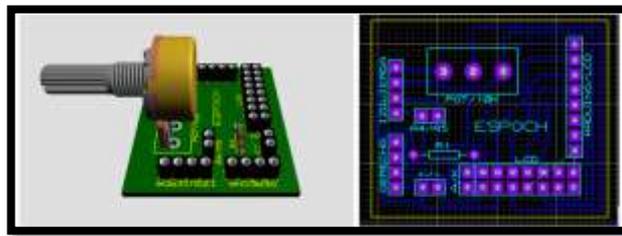
### 2.3.4. *Diseño del esquema electrónico*

En este punto se procederá a trasladar las conexiones realizadas en la protoboard hacia el Software Proteus el cual ayudará en la realización del circuito electrónico esquemático, a su vez también se podrá observar un modelo 3D del diseño de la placa, por último, el programa generará un diseño PCB la cual será utilizado para fabricar las pistas en la baquelita que ayudarán al trabajo de soldadura de los diferentes componentes del circuito.



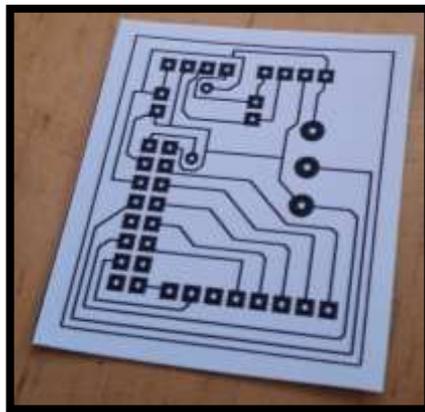
**Figura 21-2:** Circuito esquemático de las conexiones en Proteus

Realizado por: Ochoa F. & Uchupanta B., 2020.



**Figura 22-2:** Modelo 3D de la placa y diseño del PCB

Realizado por: Ochoa F. & Uchupanta B., 2020.



**Figura 23-2:** Impreso del diseño PCB para el revelado en baquelita

Realizado por: Ochoa F. & Uchupanta B., 2020.



**Figura 24-2:** Corte de la baquelita para el revelado

**Realizado por:** Ochoa F. & Uchupanta B., 2020.



**Figura 25-2:** Obtención del diseño en baquelita para soldar los componentes

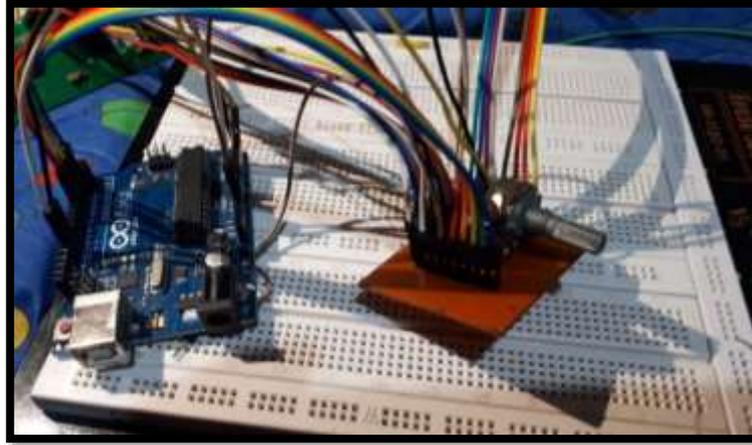
**Realizado por:** Ochoa F. & Uchupanta B., 2020.

Después de obtener el relevado del circuito en la baquelita se procede a soldar los diferentes componentes electrónicos en la placa según el esquema obtenido gracias el programa Proteus.



**Figura 26-2:** Proceso de soldadura de los componentes electrónicos

**Realizado por:** Ochoa F. & Uchupanta B., 2020.

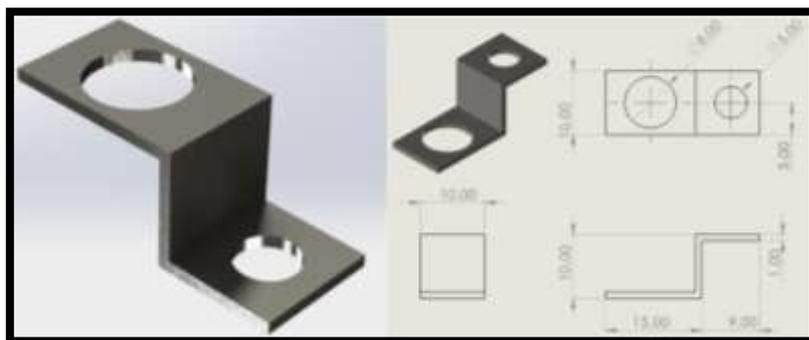


**Figura 27-2:** Conexión entre la placa electrónica y Arduino

**Realizado por:** Ochoa F. & Uchupanta B., 2020.

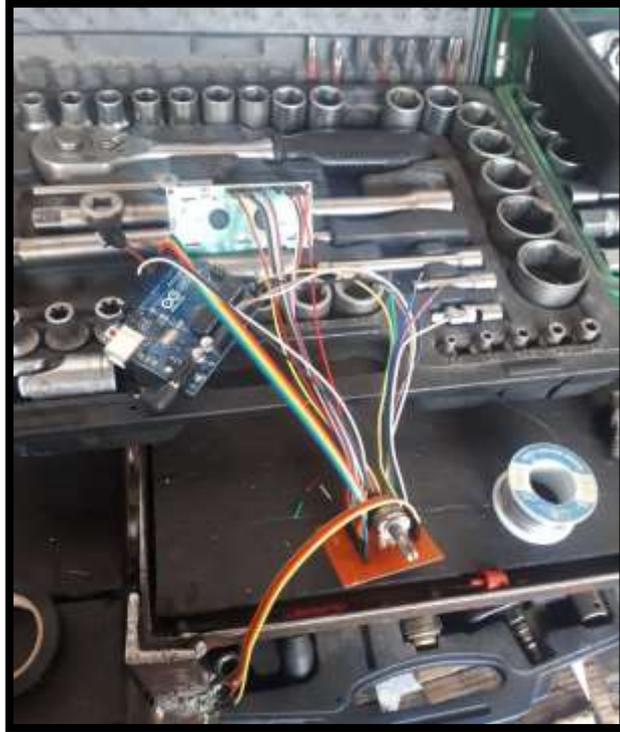
### 2.3.5. *Instalación del sensor en el vehículo*

Para la instalación de los sensores en el vehículo Chevrolet Sail 2018, se iniciará con el diseño de una platina gracias a la ayuda del software CAD denominado SolidWorks, en la Figura 15-2 se puede observar los planos, así como la visualización en 3D. Una vez finalizada el diseño se procede a la fabricación de dos platinas idénticas, para luego colocar cada sensor en su respectiva platina y finalmente ubicarlos en la mordaza de freno de la rueda delantera izquierda y rueda delantera derecha.



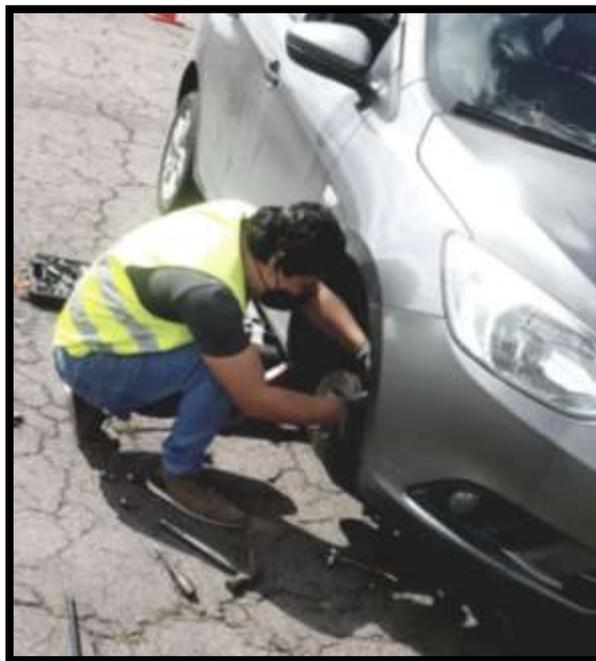
**Figura 28-2:** Diseño de platina para sujeción del sensor a las mordazas

**Realizado por:** Ochoa F. & Uchupanta B., 2020.



**Figura 29-2:** Dispositivo de monitoreo de temperaturas para las pastillas de freno de freno

**Realizado por:** Ochoa F. & Uchupanta B., 2020.



**Figura 30-2:** Instalación del sensor para monitorear la temperatura de las pastillas de freno

**Realizado por:** Ochoa F. & Uchupanta B., 2020.



**Figura 31-2:** Instalación del sensor de temperatura en las mordazas de los discos

**Realizado por:** Ochoa F. & Uchupanta B., 2020.



**Figura 32-2:** Instalación del cableado de los sensores a través del guardalodos del vehículo

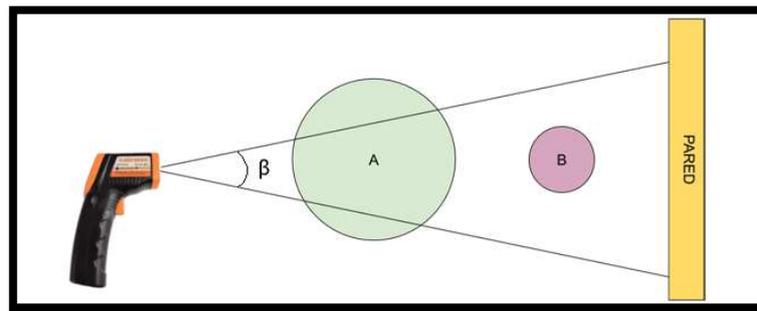
**Realizado por:** Ochoa F. & Uchupanta B., 2020.



**Figura 33-2:** Ubicación del dispositivo electrónico en la cabina

**Realizado por:** Ochoa F. & Uchupanta B., 2020.

Según Valle Hernández (2019), este modelo de sensor se recomienda instalarlo lo más cerca posible al objeto a medir para que la precisión de toma de datos sea lo más exacto, teniendo en cuenta que la versión utilizada es la BAA y esta cuenta con un campo de visión de 90°, lo que significa que el área de detección del sensor aumenta dos centímetros por cada centímetro que se aleje del objeto, se debe tomar en cuenta que el sensor hará un promedio de las temperaturas de los objetos que se encuentre en su campo de visión (Valle Hernández, 2019).



**Figura 34-2:** Campo de visión conocido del sensor

**Fuente:** <https://programarfacil.com/wp-content/uploads/2020/02/termometro-infrarrojo-con-arduino-8.png>

Finalmente, de acuerdo con la información brindada por Valle Hernández (2019), se instaló el sensor MLX90614 a una distancia de 5 mm de las pastillas de freno para asegurar la precisión de la medición de temperatura. Además, el módulo de placa y pantalla LCD programados previamente con Arduino IDE se encuentran conectados y ubicado en el habitáculo del vehículo.



**Figura 35-2:** Instalación del sensor MLX90614 en las mordazas

**Realizado por:** Ochoa F. & Uchupanta B., 2020.

### 2.3.5.1. Calibración del sensor y pruebas de funcionamiento

Al finalizar la instalación de los diferentes componentes electrónicos en el vehículo, se verificará el funcionamiento de cada componente según normativa, por lo que se realizó una prueba de conducción con los sensores funcionando con normalidad para verificar si están entregando la temperatura correcta perteneciente a las pastillas de los frenos. Al final de la prueba de carretera, se continúa verificando que el valor de temperatura mostrado por el sensor MLX90614 es correcto. Por esta razón, el valor de temperatura del sensor MLX90614 se compara con el valor de temperatura de la termocupla del multímetro automotriz.



**Figura 36-2:** Verificación de calibración del sensor MLX90614

**Realizado por:** Ochoa F. & Uchupanta B., 2020.

Según Naylamp Mechatronics (2017), las especificaciones técnicas del sensor de temperatura MLX90614 utilizado en este estudio son las siguientes:

- Voltaje de Operación: 5V
- Rango de temperatura ambiente de trabajo:  $-40^{\circ}\text{C}$  hasta  $+170^{\circ}\text{C}$
- Rango de temperatura de objeto:  $-70^{\circ}\text{C}$  hasta  $+380^{\circ}\text{C}$
- Precisión:  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ .
- ADC incorporado de 17 bits
- Protocolo de comunicación SMBUS (I2C)
- No necesita componentes adicionales



**Figura 37-2:** Comprobación de trabajo de los sensores

Realizado por: Ochoa F. & Uchupanta B., 2020.

### **2.3.6. Método para la obtención de datos**

La obtención de datos se la realiza mediante pruebas de pista en base a la norma ISO 21994:2017 “Automóviles de pasajeros – Distancia de parada en línea recta con ABS – Método de prueba de circuito abierto”, la cual consiste en un método de prueba en bucle abierto para determinar la distancia de parada de un vehículo durante una maniobra de frenado en línea recta, con el Sistema de Frenado Antibloqueo (ABS) totalmente activado.

Las variables por medir en esta prueba fueron:

- Velocidad longitudinal. – La velocidad recomendada por la norma ISO 21993 es de mayor a 98 km/h y menor a 102 km/h.
- Tiempo de accionamiento del pedal de freno.
- Distancia de frenado longitudinal. -Se recomienda que la distancia para que el vehículo se detenga por completo sea inferior a 100 metros.
- La temperatura de las pastillas de freno cuando se pisa el pedal del freno.

Todos los datos mencionados anteriormente se almacenaron en el Software Excel para luego realizar su análisis estadístico.



**Figura 38-2:** Toma de datos para el análisis estadístico

Realizado por: Ochoa F. & Uchupanta B., 2020.

### 2.3.6.1. Recopilación de datos

Las pruebas de pista para la obtención de datos, se las realizaron en la plataforma Militar de la Base Aérea Mariscal Sucre (antigua pista del ex aeropuerto de Quito) perteneciente a la F.A.E. Para lograr los objetivos de las pruebas, se delimito una distancia de 450 metros lineales en la cual se realizaron las maniobras de las pruebas de frenado, cabe mencionar que todo el proceso mencionado anteriormente se lo realizo con las medidas de seguridad impuestas por la institución militar, así como las directrices planteadas en la norma ISO 21993.



**Figura 39-2:** Oficio para utilizar la plataforma militar de la FAE

Realizado por: Ochoa F. & Uchupanta B., 2020.



**Figura 40-2:** Croquis del área en la cual se realizarán las pruebas

Realizado por: Ochoa F. & Uchupanta B., 2020.



**Figura 41-2:** Plataforma militar

Realizado por: Ochoa F. & Uchupanta B., 2020.

Una vez delimitada la pista de pruebas con los respectivos conos de seguridad se procede a marcar la distancia en la cual el vehículo logra alcanzar los 100k/h, esta referencia se la emplea para accionar el pedal de freno. Desde este punto hasta que el vehículo detenga su marcha completamente, se obtienen los siguientes datos: temperatura de las pastillas de freno, distancia de frenado, tiempo de accionamiento del pedal de freno.



**Figura 42-2:** Delimitación del área para la prueba en pista

Realizado por: Ochoa F. & Uchupanta B., 2020.

Este proceso se lo realizo tres veces como pruebas piloto para comprobar que las distancias marcadas sean correctas, además de verificar que los sensores se encuentren trabajando correctamente y que el vehículo en general entre en temperatura de trabajo optimo (pastillas de freno, temperatura del motor, neumáticos) para así evitar errores en la adquisición de datos, además de prevenir posibles accidentes.



**Figura 43-2:** Comprobación de la distancia de frenado de las pruebas piloto

**Realizado por:** Ochoa F. & Uchupanta B., 2020.

Una vez finalizado el proceso de comprobación se procede a realizar 5 pruebas para el análisis estadístico, cabe mencionar que en cada prueba a bordo del vehículo se encontraba el piloto y un copiloto el cual se encargaba de verificar la obtención de datos. Además, las pastillas de freno utilizadas en cada una de las pruebas se sometieron a un proceso de acondicionamiento con una conducción ordinaria de 75 km.



**Figura 44-2:** Cambio de pastillas de freno para las pruebas

**Realizado por:** Ochoa F. & Uchupanta B., 2020.



**Figura 45-2:** Cambio de pastillas para su acondicionamiento

**Realizado por:** Ochoa F. & Uchupanta B., 2020.

#### *2.3.6.2. Método de análisis estadístico*

Para la interpretación de datos se empleará estadística descriptiva, ya que por este método se tendrán respuestas claras y concisas. Este análisis será aplicado a todas las variables expuestas a continuación.

#### *2.3.6.3. Análisis de variables*

Según Juan Rocha, para efectuar el análisis estadístico de los resultados adquiridos, primero se deberá contar con los factores y niveles que afectan al proceso de análisis de los resultados, lo cual facilita a realizar una serie de combinaciones, las cuales ayudan a visualizar de una mejor manera las diferencias relevantes de cada muestra (Rocha-Hoyos et al., 2019, p. 137-146).

**Tabla 7-2:** Designación de factores y niveles para su estudio.

FACTORES	MARCAS	NIVELES	DESIGNACIÓN
Pastillas de freno	Double Link Brake (DLBE)	Económica	DLBE1
			DLBE2
			DLBE3
	Brake Pak (BPP)	Premium	BPP1
			BPP2
			BPP3

Realizado por: Ochoa F. & Uchupanta B., 2020.

**Tabla 8-2:** Iteraciones para cada designación

NIVELES	NÚMERO DE PASTILLAS	NÚMERO DE PRUEBAS
Double Link Brake	3	15
Brake Pak	3	15
<b>TOTAL</b>	6	30

Realizado por: Ochoa F. & Uchupanta B., 2020.



**Figura 46-2:** Marcas de pastillas de freno utilizadas en las pruebas

Realizado por: Ochoa F. & Uchupanta B., 2020.

## CAPITULO III

### 3. ANÁLISIS DE DATOS

Para el análisis de datos se inicia con el monitoreo de las pastillas con la designación DLBE1, para luego continuar con la adquisición de los datos de esta. Este procedimiento se realizó para cada una de las muestras de pastillas de freno con las designaciones mencionadas ya anteriormente en la metodología.

#### 3.1. Monitoreo de pruebas en pista

A continuación, se presenta las secciones con sus respectivas gráficas en las cuales se detalla los valores de temperatura registradas desde que el automóvil alcanza los 100 km/h para luego accionar el pedal de freno y detener la marcha del vehículo en su totalidad. Cabe mencionar que los datos tabulados fueron censados cada 1 segundo, desde que el vehículo parte del reposo hasta que el vehículo se detiene por completo su marcha luego de accionar el pedal de freno con un tiempo promedio de prueba de 23 segundos.

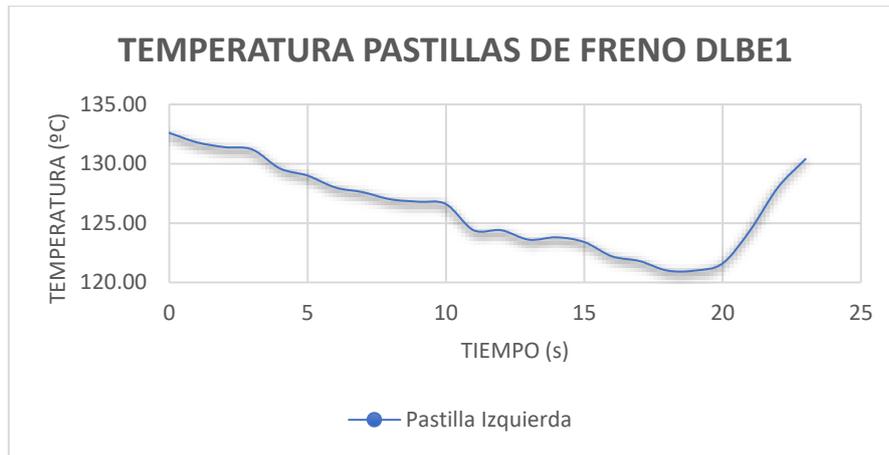
##### 3.1.1. Pastillas de freno DLBE

En el presente apartado se mostrará la media de los datos obtenidos en las 5 pruebas realizadas a cada una de las muestras de las pastillas de freno DLBE. Cabe recalcar que todos los datos adquiridos en dichas pruebas se ubicaran en la parte de anexos.

##### 3.1.1.1. Datos de temperatura de las pastillas de freno DLBE1

En el Anexo E se puede encontrar la tabla en la cual se observar a mayor detalle cada uno de los valores de las temperaturas obtenidas de las pastillas de freno BLBE1, asimismo se visualiza la temperatura media de la pastilla de freno delantera izquierda y delantera derecha.

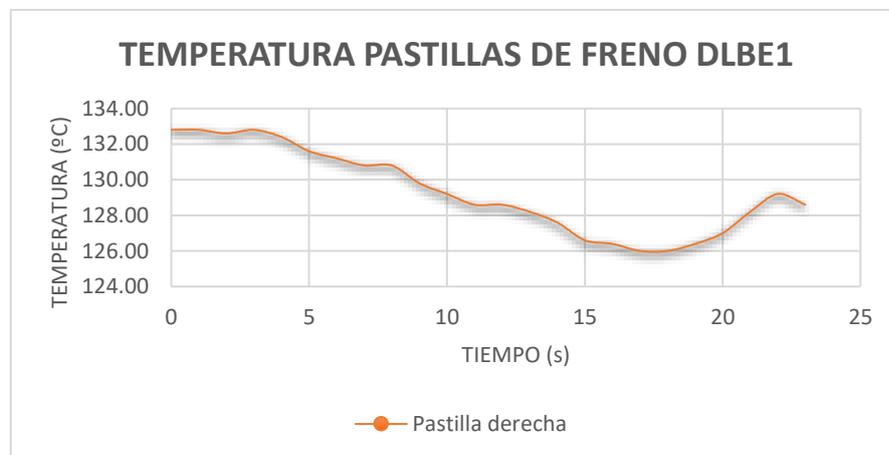
En el Gráfico 1-3 se presenta los datos de temperatura vs tiempo de las pastillas de freno DLBE1 de la rueda delantera izquierda.



**Gráfico 3-3:** Temperatura de las Pastillas de freno DLBE1 Izquierda

**Realizado por:** Ochoa F. & Uchupanta B., 2020.

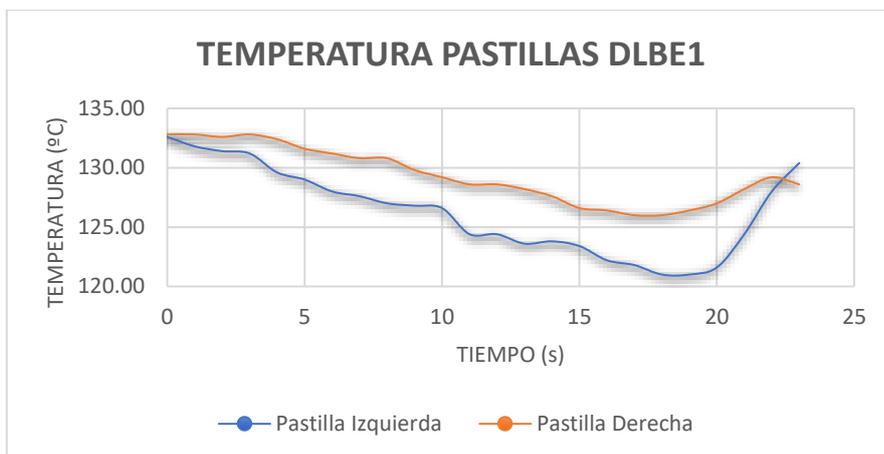
En el Gráfico 2-3 se presenta los datos de temperatura vs tiempo de las pastillas de freno DLBE1 de la rueda delantera derecha.



**Gráfico 4-3:** Temperatura de las Pastillas de freno DLBE1 Derecha vs Tiempo

**Realizado por:** Ochoa F. & Uchupanta B., 2020.

En el Gráfico 3-3 se presenta una comparación de los datos obtenidos de temperatura vs tiempo de las pastillas de freno DLBE1 de la rueda delantera derecha y delantera izquierda.



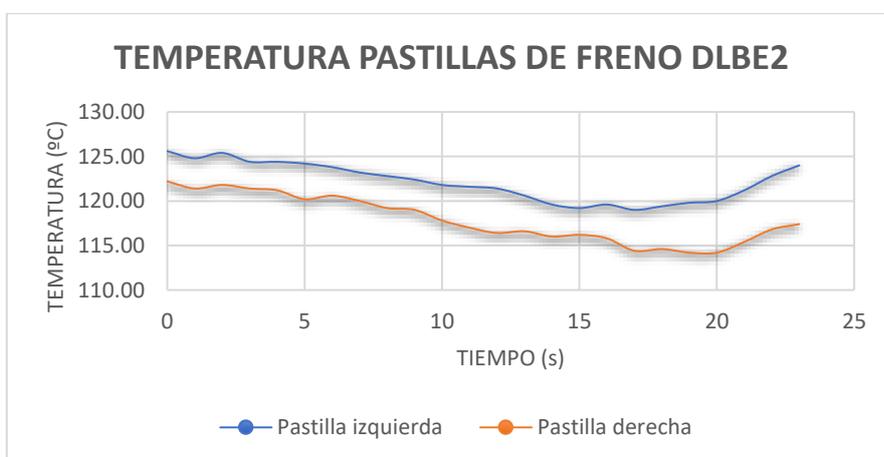
**Gráfico 5-3:** Temperatura Pastillas de freno DLBE1 Izquierda y Derecha vs Tiempo

**Realizado por:** Ochoa F. & Uchupanta B., 2020.

### 3.1.1.2. Datos de temperatura de las pastillas de freno DLBE2

En el Anexo F, se puede encontrar una tabla donde se puede observar los valores de temperatura obtenidos de las pastillas de freno BLBE2 con más detalle, y también mostrar la temperatura media de las pastillas de freno delanteras izquierda y derecha.

En el Gráfico 4-3 se presenta una comparación de los datos obtenidos de temperatura vs tiempo de las pastillas de freno DLBE2 de la rueda delantera derecha y delantera izquierda.



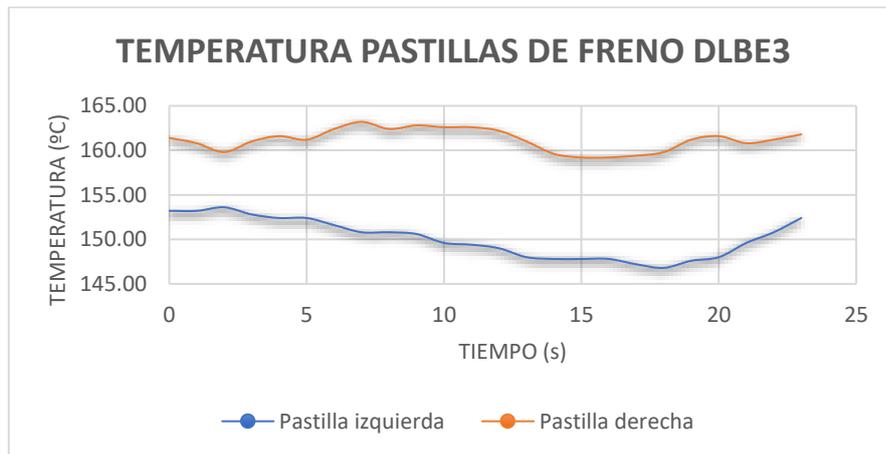
**Gráfico 6-3:** Temperatura Pastillas de freno DLBE2 Izquierda y Derecha vs Tiempo

**Realizado por:** Ochoa F. & Uchupanta B., 2020.

### 3.1.1.3. Datos de temperatura de las pastillas de freno DLBE3

En el Adjunto G, se puede encontrar una tabla donde se puede observar los valores de temperatura obtenidos de las pastillas de freno BLBE3 con más detalle, y también mostrar la temperatura media de las pastillas de freno delanteras izquierda y derecha.

En el Gráfico 5-3 se presenta una comparación de los datos obtenidos de temperatura vs tiempo de las pastillas de freno DLBE3 de la rueda delantera derecha y delantera izquierda.

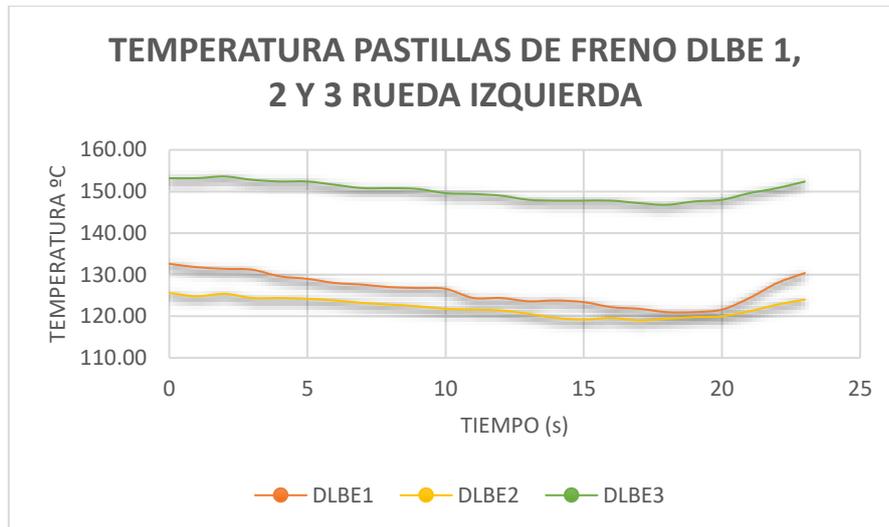


**Gráfico 7-3:** Temperatura Pastillas de freno DLBE3 Izquierda y Derecha vs Tiempo

Realizado por: Ochoa F. & Uchupanta B., 2020.

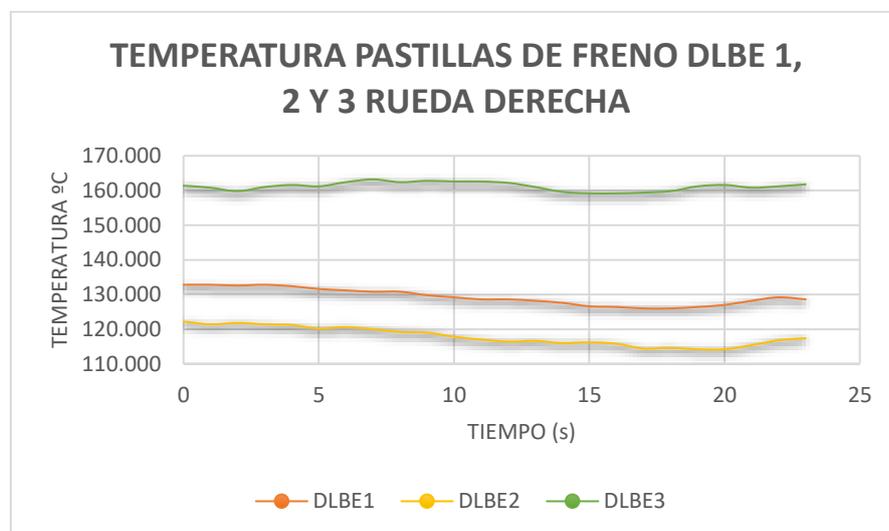
### 3.1.1.4. Comparativa de las temperaturas de las pastillas de freno DLBE 1, 2 y 3

En el Gráfico 6-3 y en el Gráfico 7-3 se puede observar la comparativa de temperatura entre las 3 pastillas DLBE de la rueda delantera izquierda y derecha, y como se visualiza las pastillas DLBE3 sufre un incremento considerable de la temperatura en relación con las pastillas DBL1 y DLB2, esto se debió a que estas pastillas sobrellevaron un recalentamiento durante la prueba y debido a este recalentamiento se evidenció un incremento en la distancia de frenado.



**Gráfico 8-3:** Comparativa de temperaturas entre las pastillas de freno DLBE 1, 2 y 3 de la rueda delantera izquierda.

Realizado por: Ochoa F. & Uchupanta B., 2020.



**Gráfico 9-3:** Comparativa de temperaturas entre las pastillas DLBE 1, 2 y 3 de la rueda delantera derecha.

Realizado por: Ochoa F. & Uchupanta B., 2020.

### 3.1.1.5. Distancia de frenado y tiempo de accionamiento del pedal de freno con las pastillas de freno DLBE 1, 2 y 3

En la Tabla 1-3 se muestra la media de los datos obtenidos de la distancia de frenado y tiempo de accionamiento del pedal de freno en las pastillas DLBE 1, 2 y 3, también se aclara que estos datos

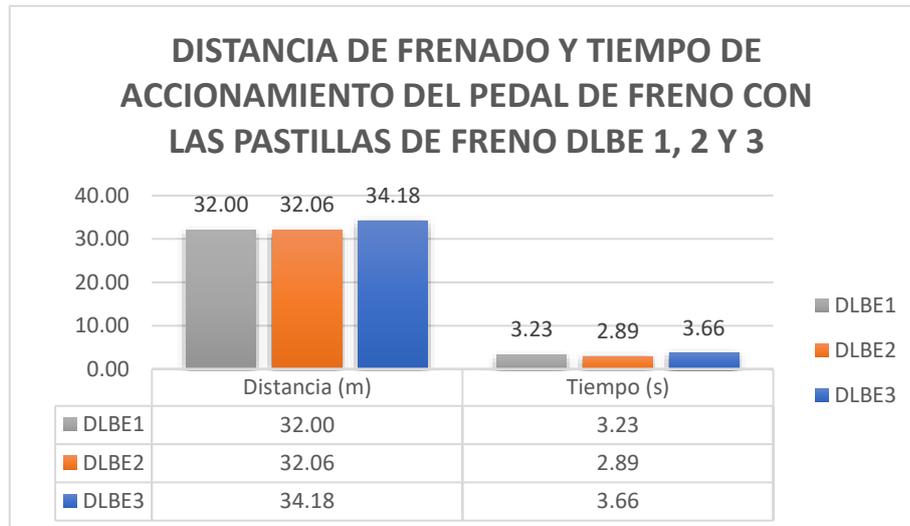
se visualizan a mayor detalle en el Anexo K, en donde se encuentra las tablas con los datos de distancia y tiempo de frenado de cada una de las pastillas.

**Tabla 9-3:** Media de distancia de frenado y tiempo de accionamiento del pedal de freno de las pastillas de freno DLBE.

	MEDIA			MEDIA
	DLBE1	DLBE2	DLBE3	
<b>Distancia (m)</b>	32	32,06	34,18	32,75
<b>Tiempo (s)</b>	3,228	2,894	3,656	3,26

Realizado por: Ochoa F. & Uchupanta B., 2020.

En el Gráfico 8-3 se puede apreciar la comparativa de las distancias de frenado, así como del tiempo de accionamiento del pedal de freno de las tres muestras de pastillas Double Link Brake (DLBE).

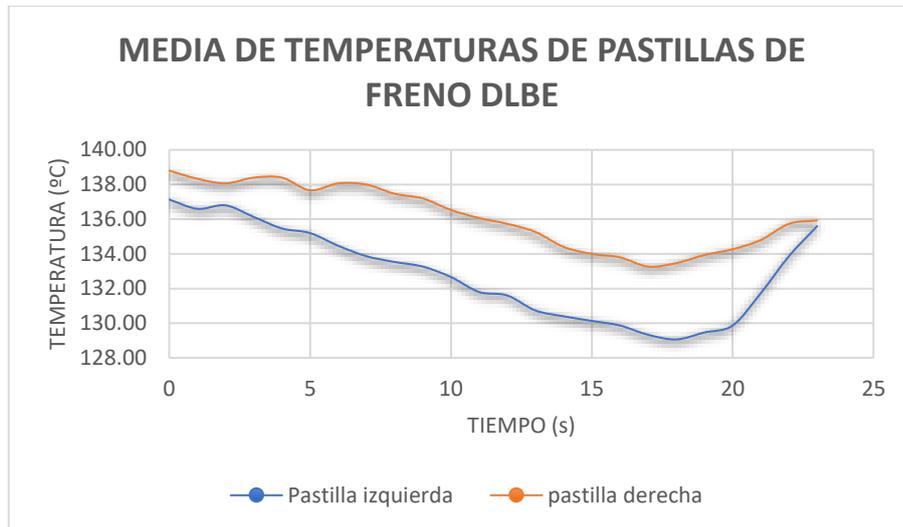


**Gráfico 10-3:** Distancia de frenado y tiempo de accionamiento del pedal de freno con las pastillas de freno DLBE 1, 2 y 3.

Realizado por: Ochoa F. & Uchupanta B., 2020.

### 3.1.1.6. Resultado final del análisis de las pastillas de freno Double Link Brake (DLBE).

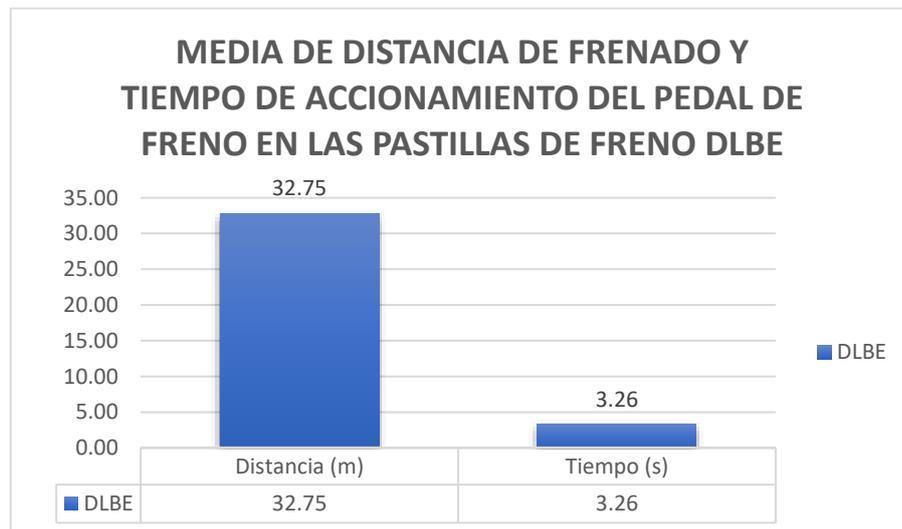
En el Gráfico 9-3 se presenta la media de las temperaturas vs tiempo de los datos obtenidos de las pruebas realizadas con las 3 muestras de pastillas de freno Double Link Brake (DLBE) de la rueda delantera derecha y rueda delantera izquierda.



**Gráfico 11-3.** Media de temperaturas de las pastillas de freno DLBE 1, 2 y 3 de las ruedas delanteras derecha e izquierda.

Realizado por: Ochoa F. & Uchupanta B., 2020.

En el Gráfico 10-3 se presenta la media obtenida de las distancias de frenado y el tiempo de accionamiento del pedal de freno de las pruebas realizadas con las 3 muestras de pastillas de freno DLBE.



**Gráfico 12-3:** Media de distancia de frenado y tiempo de accionamiento del pedal del freno en las pastillas de freno DLBE 1, 2 y 3.

Realizado por: Ochoa F. & Uchupanta B., 2020.

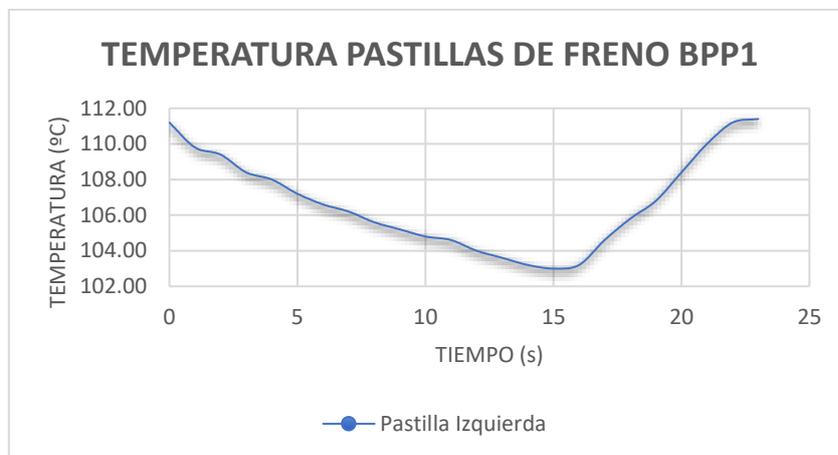
### 3.1.2. Pastillas de freno Brake Pak (BPP)

En esta sección, se mostrará el valor promedio de los datos obtenidos en 5 pruebas realizadas en cada muestra de pastillas de freno BPP. Cabe destacar que todos los datos obtenidos en estas pruebas se pueden encontrar en el adjunto.

#### 3.1.2.1. Datos de temperatura de las pastillas de freno BPP1

En el Anexo H se puede encontrar la tabla en la cual se observa a mayor detalle los valores de las temperaturas obtenidas de las pastillas de freno BPP1, asimismo se visualiza la temperatura media de la pastilla de freno delantera izquierda y delantera derecha.

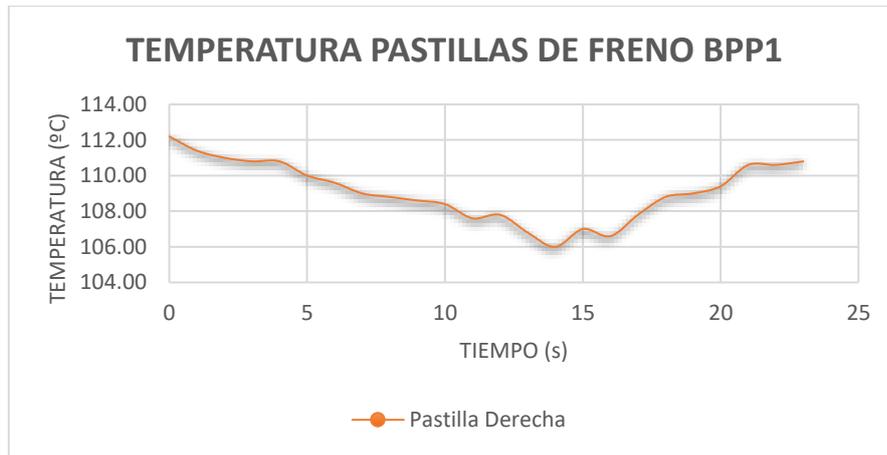
En el Gráfico 11-3 se presenta los datos obtenidos de temperatura vs tiempo de las pastillas BBP1 de freno de la rueda delantera izquierda.



**Gráfico 13-3:** Temperatura de la Pastilla de freno BBP1 Izquierda vs Tiempo

Realizado por: Ochoa F. & Uchupanta B., 2020.

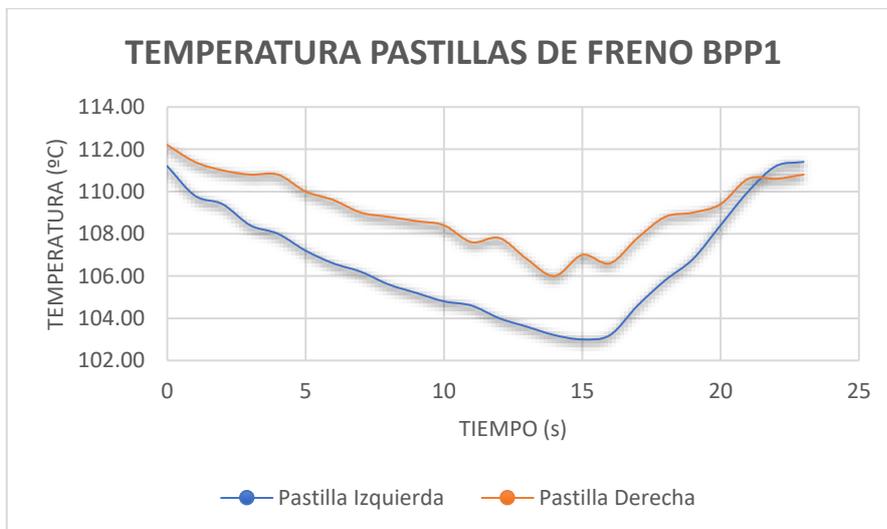
En el Gráfico 12-3 se presenta los datos obtenidos de temperatura vs tiempo de las pastillas BBP1 de freno de la rueda delantera derecha.



**Gráfico 14-3:** Temperatura de la Pastilla de freno BPP1 Derecha vs Tiempo

**Realizado por:** Ochoa F. & Uchupanta B., 2020.

En el Gráfico 13-3 se presenta una comparación los datos obtenidos de temperatura vs tiempo de las pastillas de freno BPP1 de la rueda delantera derecha y delantera izquierda.



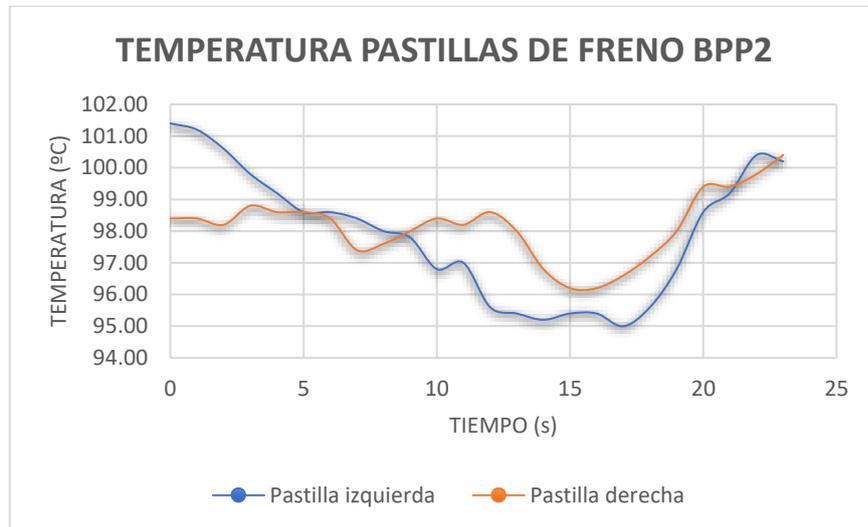
**Gráfico 15-3:** Temperatura Pastillas de freno BPP1 Izquierda y Derecha vs Tiempo

**Realizado por:** Ochoa F. & Uchupanta B., 2020.

### 3.1.2.2. Datos de temperatura de las pastillas de freno BPP2

En el Adjunto I, se puede encontrar una tabla donde se puede observar los valores de temperatura obtenidos de las pastillas de freno BPP2 con más detalle, y también mostrar la temperatura media de las pastillas de freno delanteras izquierda y derecha.

En el Gráfico 14-3 se presenta una comparación de los datos obtenidos de temperatura vs tiempo de las pastillas de freno BPP2 de la rueda delantera derecha y delantera izquierda.



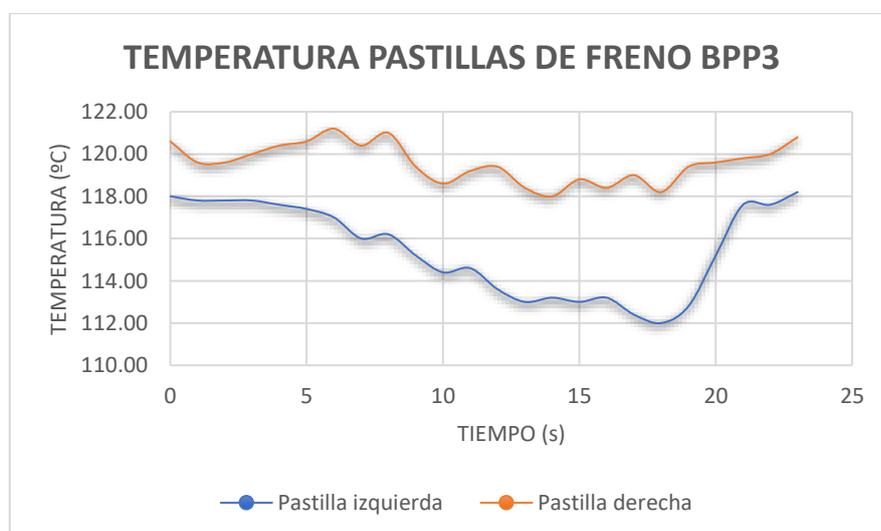
**Gráfico 16-3:** Temperatura Pastillas de freno BPP2 Izquierda y Derecha vs Tiempo

Realizado por: Ochoa F. & Uchupanta B., 2020.

### 3.1.2.3. Datos de temperatura de las pastillas de freno BPP3

En el Adjunto J, se puede encontrar una tabla donde se puede observar los valores de temperatura obtenidos de las pastillas de freno BPP3 con más detalle, y también mostrar la temperatura media de las pastillas de freno delanteras izquierda y derecha.

En el Gráfico 15-3 se presenta una comparación de los datos obtenidos de temperatura vs tiempo de las pastillas de freno BPP3 de la rueda delantera derecha y delantera izquierda.

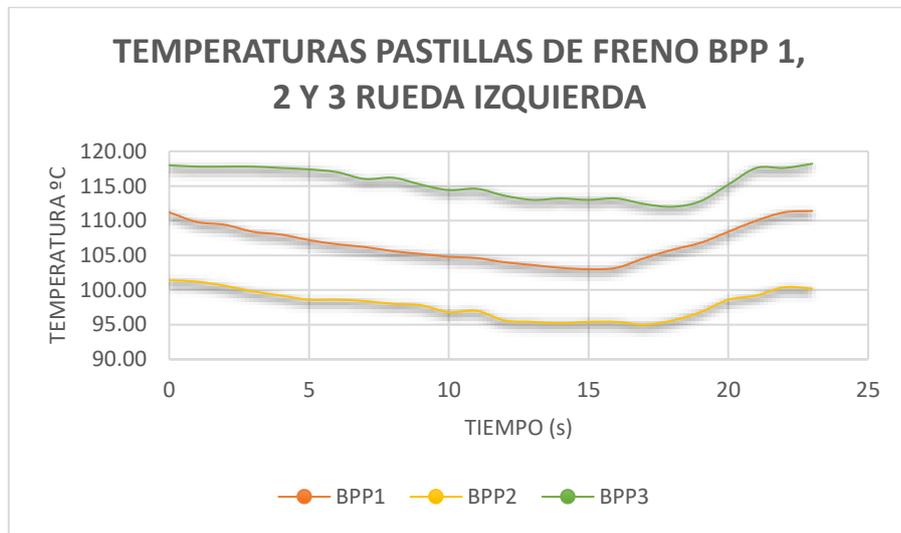


**Gráfico 17-3:** Temperatura Pastillas de freno BPP3 Izquierda y Derecha vs Tiempo

Realizado por: Ochoa F. & Uchupanta B., 2020.

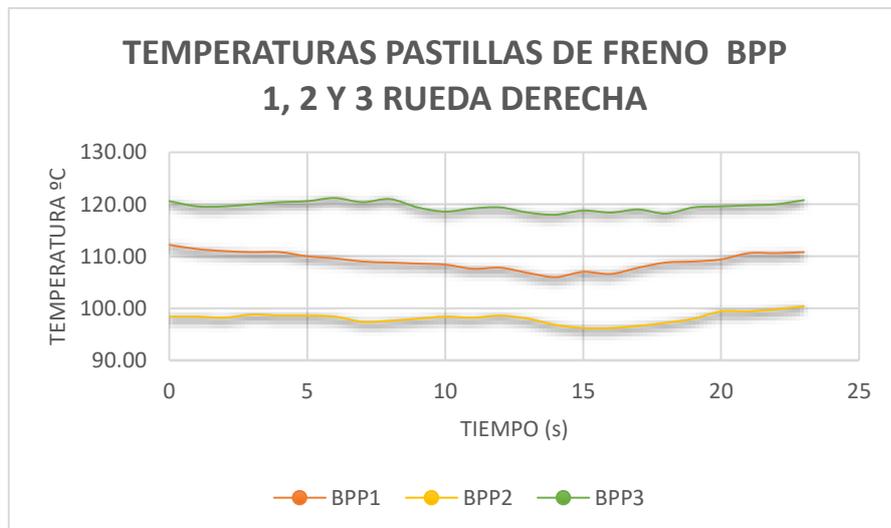
### 3.1.2.4. Comparativa de las temperaturas de las pastillas de freno BPP 1, 2 y 3.

En el Gráfico 16-3 y en el Gráfico 17-3 se puede observar la comparativa de temperatura entre las 3 pastillas BPP de la rueda delantera izquierda y derecha, y se visualiza como las pastillas BPP sufren un incremento de temperatura en relación de una con otra de apenas 10° aproximadamente, siendo el incremento de temperatura aceptable.



**Gráfico 18-3:** Comparativa de temperaturas entre las pastillas de freno BPP 1 ,2 y 3 rueda izquierda.

**Realizado por:** Ochoa F. & Uchupanta B., 2020.



**Gráfico 19-3:** Comparativa de temperaturas entre las pastillas de freno BPP 1, 2 y 3 rueda derecha.

**Realizado por:** Ochoa F. & Uchupanta B., 2020.

3.1.2.5. *Distancia de frenado y tiempo de accionamiento del pedal de freno con las pastillas de freno BPP 1, 2 y 3.*

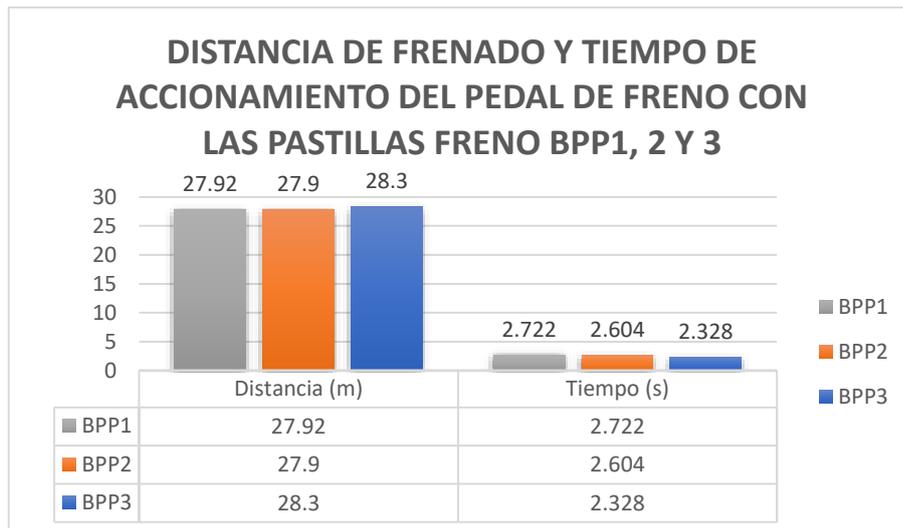
En la Tabla 2-3 se muestra la media de los datos obtenidos de la distancia de frenado y tiempo de accionamiento del pedal de freno en las pastillas BPP 1, 2 y 3, también se aclara que estos datos se visualizan a mayor detalle en el Anexo L, en donde se encuentra las tablas con los datos de distancia y tiempo de frenado de cada una de las pastillas.

**Tabla 10-3:** Media de distancia de frenado y tiempo de accionamiento del pedal de freno de las pastillas de freno BPP.

	MEDIA			MEDIA
	BPP1	BPP2	BPP3	
<b>Distancia (m)</b>	27,92	27,9	28,3	28,04
<b>Tiempo (s)</b>	2,722	2,604	2,328	2,55

Realizado por: Ochoa F. & Uchupanta B., 2020.

En el presente Gráfico 18-3 se puede apreciar la comparativa de las distancias de frenado, así como del tiempo de accionamiento del pedal de freno de las tres muestras de la marca BPP de pastillas de freno.

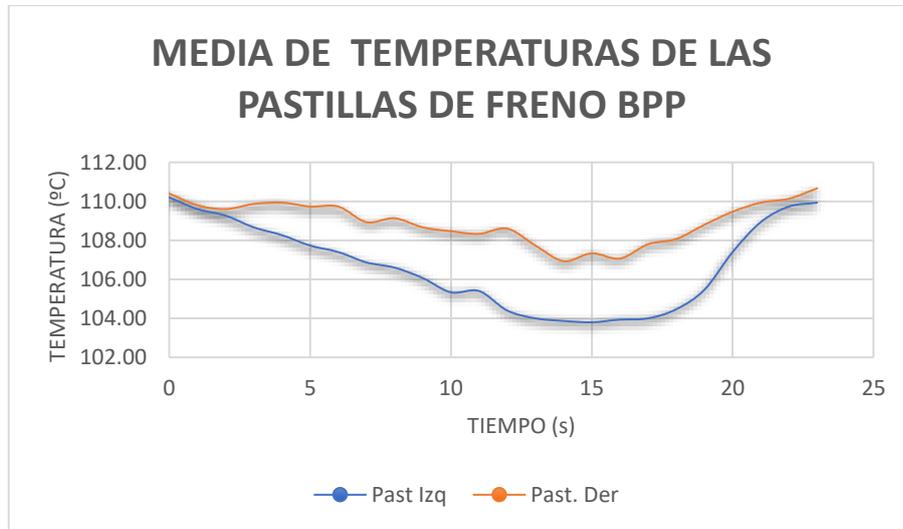


**Gráfico 20-3:** Gráfica de distancia de frenado y tiempo de accionamiento del pedal de freno con las pastillas de freno BPP 1, 2 y 3.

Realizado por: Ochoa F. & Uchupanta B., 2020.

3.1.2.6. Resultado final del análisis de las pastillas de freno Brake Pak (BPP).

En el Gráfico 19-3 se presenta la media de temperaturas vs tiempos adquiridos en las pruebas realizadas con las 3 muestras pastillas de freno BPP de la rueda delantera derecha y delantera izquierda.



**Gráfico 21-3:** Media de las temperaturas de las pastillas de freno Brake Pak (BPP).

Realizado por: Ochoa F. & Uchupanta B., 2020.

En el Gráfico 20-3 se presenta la media obtenida de la distancia de frenado y el tiempo de accionamiento del pedal de freno de las pruebas realizadas con las 3 muestras de pastillas de freno BPP.



**Gráfico 22-3:** Media de la distancia de frenado y tiempo de accionamiento del pedal del freno en las pastillas de freno Brake Pak (BPP).

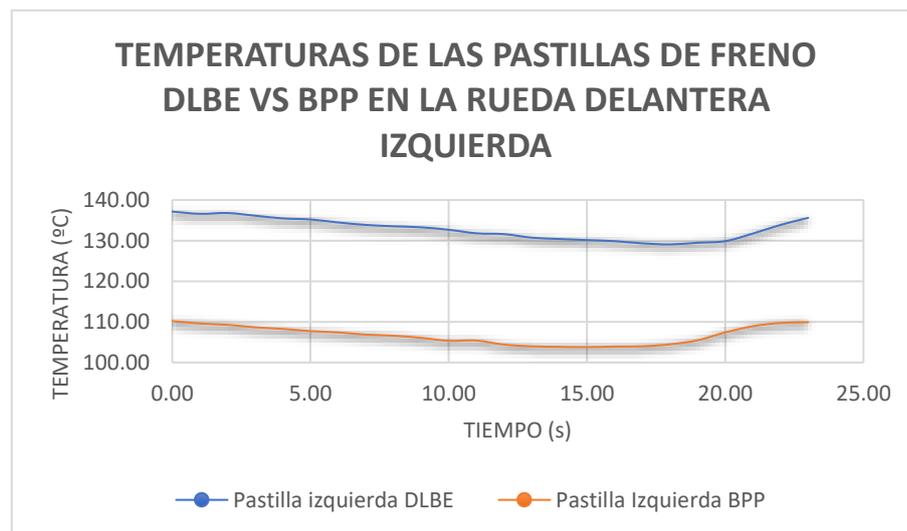
Realizado por: Ochoa F. & Uchupanta B., 2020.

### 3.1.3. Comparativa entre los datos medios de temperatura y distancia de frenado de las pastillas Double Link Brake (DLBE) y Brake Pak (BPP).

#### 3.1.3.1. Medias de temperatura las pastillas de freno DLBE y BPP de la rueda delantera izquierda y rueda delantera derecha.

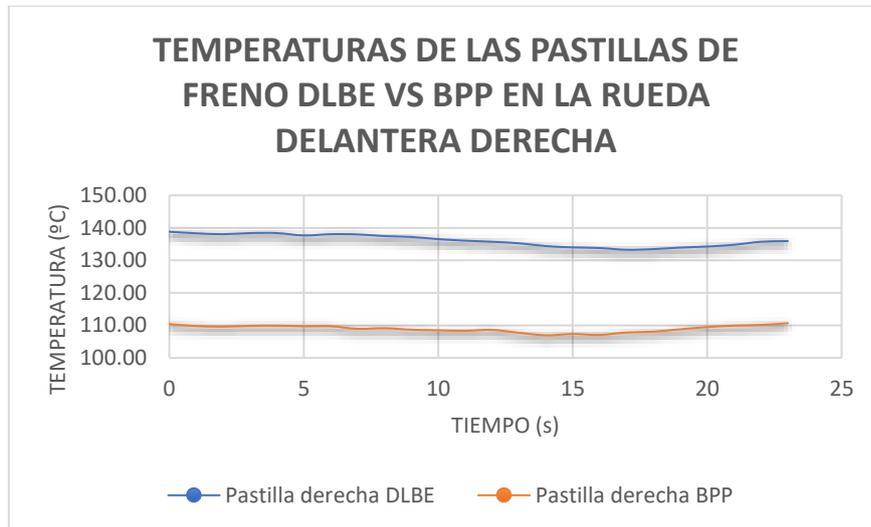
Luego de procesar todos los datos obtenidos en las respectivas pruebas de pista realizada a cada una de las muestras de pastillas de freno, se obtienen los siguientes resultados:

En el Gráfico 21-3 y 22-3 se tiene la comparativa de las temperaturas de las pastillas de freno de las marcas DLBE Y BPP de la rueda delantera izquierda y derecha respectivamente, en donde se puede apreciar claramente que la marca BPP trabaja en temperaturas inferiores a la marca DLBE debido a que la marca BPP disipa el calor de una forma óptima. Esto se lo aprecia en la tendencia que tienen los resultados plasmados en las gráficas mencionadas anteriormente, en donde las temperaturas iniciales de las pastillas de freno DLBE Y BPP son diferentes, además estas tienden a disminuir mientras el vehículo aumenta su velocidad hasta que por un instante se mantienen constante, luego las temperaturas se elevan bruscamente debido al accionamiento de pedal del freno.



**Gráfico 23-3:** Temperaturas medias entre las pastillas de freno Double Link Brake (DLBE) y Brake Pak (BPP) en la rueda izquierda delantera.

Realizado por: Ochoa F. & Uchupanta B., 2020.



**Gráfico 24-3:** Comparativa de las temperaturas medias entre las pastillas de freno Double Link Brake (DLBE) y Brake Pak (BPP) en la rueda derecha.

Realizado por: Ochoa F. & Uchupanta B., 2020.

3.1.3.2. *Media de distancia de frenado y tiempo de accionamiento del pedal de freno con las pastillas de freno DLBE Y BPP*

En el Gráfico 23-3 se puede apreciar una reducción en la distancia de frenado en las pruebas de pista realizadas con las pastillas de freno BPP en comparación con las pastillas de freno DLBE, siendo esta directamente proporcional al tiempo de accionamiento del pedal de freno.



**Gráfico 25-3:** Comparativa de las distancias de frenado y el tiempo de accionamiento del pedal de freno de las pastillas de freno Double Link Brake (DLBE) y Brake Pak (BPP).

Realizado por: Ochoa F. & Uchupanta B., 2020.

## 3.2. Análisis estadístico

### 3.2.1. Método de correlación de Pearson

Con el método de correlación de Pearson se verificará si existe una relación significativa entre las marcas de pastillas de freno Double Link Brake (DLBE) y Brake Pak (BPP) en conjunto con sus respectivos valores de temperatura de trabajo y distancias de frenado obtenidos en las pruebas de pista ya que estas fueron seleccionadas como variables de estudio, para finalmente verificar cuál de las hipótesis planteadas se cumple.

Cabe mencionar que para la selección de la hipótesis se debe tener en cuenta el valor de significancia (bilateral), si dicho valor llegase a ser mayor a 0,05 se deberá seleccionar la hipótesis nula “Ho” rechazando la hipótesis alternativa “Hi” si este no llegase a ser el caso, se deberá seleccionar la hipótesis alternativa “Hi” rechazando la hipótesis nula “Ho”.

En la Tabla 3-3 se puede observar el valor de significancia (bilateral) entre TEMPERATURA DE PASTILLAS DE FRENO y DISTANCIA DE FRENADO la cual tiene un valor menor a 0,05 con lo que se aceptará la hipótesis alternativa rechazando la hipótesis nula, pues este valor indica que existe una asociación lineal entre las dos variables ya mencionadas.

**Tabla 11-3.** Correlación de Pearson entre las variables de temperatura y distancia de frenado

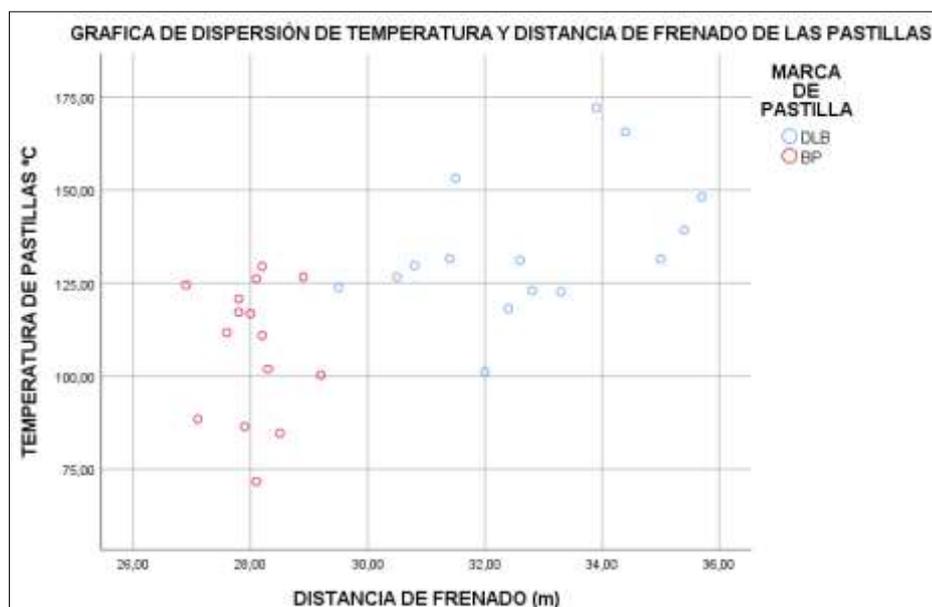
CORRELACIONES				
		MARCA DE PASTILLAS DE FRENO	TEMPERATURA DE PASTILLAS DE FRENO	DISTANCIA DE FRENADO
MARCA DE PASTILLAS DE FRENO	Correlación de Pearson	1	-,602**	-,870**
	Significancia (bilateral)		,000	,000
	N	30	30	30
TEMPERATURA DE PASTILLAS DE FRENO	Correlación de Pearson	-,602**	1	,635**
	Significancia (bilateral)	,000		,000
	N	30	30	30
DISTANCIA DE FRENADO	Correlación de Pearson	-,870**	,635**	1
	Significancia (bilateral)	,000	,000	
	N	30	30	30

\*\* . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Realizado por: Ochoa F. & Uchupanta B., 2020.

Además, se evidencia valores adicionales de significancia (bilateral) menores a 0,05 que relacionan las variables restantes, en otras palabras, la MARCA DE LAS PASTILLAS DE FRENO posee una correlación significativa y directa con la DISTANCIA DE FRENADO y con la TEMPERATURA DE PASTILLAS DE FRENO.

En el Gráfico 24-3 se observa el comportamiento entre las marcas de pastillas de freno Double Link Brake (DLBE) y Brake Pak (BPP), en donde se visualiza los valores de temperatura que alcanzaron las pastillas de freno de ambas marcas y la distancia de frenado que requirieron para detener el vehículo durante las pruebas de pista. A simple vista se observa que la marca de pastillas de freno Brake Pak (BPP) tiene un desempeño óptimo a diferentes rangos de temperatura de trabajo ya sean estos elevados o mínimos, mientras que para las pastillas de freno de la marca Double Link Brake (DLBE) su desempeño es pésimo a razón que su temperatura de trabajo aumenta, para corroborar lo mencionado anteriormente se aplicará el método de análisis estadístico de T-Student.



**Gráfico 26-3:** Gráfica de dispersión de temperatura y distancia de frenado de las pastillas DLBE y BPP

Realizado por: Ochoa F. & Uchupanta B., 2020.

### 3.2.2. Método de prueba T Student

Para verificar los resultados obtenidos en este análisis se escogió la prueba T para muestras independiente el cual ayudará a verificar si existe una diferencia significativa de las medias de

temperatura entre las marcas de pastillas de freno Double Link Brake (DLBE) y Brake Pak (BPP), de igual forma se verificará si existe una diferencia significativa entre las medias de las distancias de frenado del vehículo utilizando las mismas marcas de pastillas de freno.

3.2.2.1. *Análisis estadístico de las temperaturas de las pastillas de freno Double Link Brake (DLBE) y Brake Pak (BPP),*

En la Tabla 4-3 se observa la estadística de grupo, donde se muestra el número de pruebas realizadas para ambas pastillas de freno, para este caso se realizaron 15 pruebas. En las estadísticas del grupo se puede observar que la temperatura media de las pastillas de freno Double Link Brake (DLBE) es superior a la de las pastillas de freno Brake Pak (BPP), lo que indica que la temperatura media de cada marca de pastillas de freno es diferente. Cabe mencionar que la unidad de medida de la temperatura son los grados Celsius.

**Tabla 12-3:** Estadística de grupo para la temperatura

Estadísticas de grupo					
	Marca de pastilla	N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
<b>TEMPERATURA</b>	Double Link Brake (DLBE)	15	134,5060	18,57167	4,79518
	Brake Pak (BPP)	15	107,8440	18,04373	4,65887

Realizado por: Ochoa F. & Uchupanta B., 2020.

En la Tabla 5-3 se observa la prueba de muestras independientes la cual ayuda a ratificar que los valores medios de temperatura de las pastillas de freno obtenidos en la Tabla 4-3 existe un valor de significancia importante, estadísticamente si el valor de significancia (bilateral) es menor a 0,05 indica que hay una diferencia significativa. Para este caso de estudio el valor de significancia (bilateral) se tiene un valor menor a 0,05 lo cual indica que los valores de las medias de temperatura presentan una diferencia significativa. Con lo mencionado anteriormente se afirma que las temperaturas medias obtenida de cada marca de pastilla difiere una de la otra.

**Tabla 13-3.** Prueba T para la temperatura

Prueba de muestras independientes	
Prueba de Levene de igualdad de varianzas	Prueba t para la igualdad de medias

		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
									Inferior	Superior
TEMPERATURA	Se asumen varianzas iguales	,075	,787	3,988	28	<b>,000434</b>	26,66200	6,6857	12,96692	40,35708
	No se asumen varianzas iguales			3,988	27,977	<b>,000435</b>	26,66200	6,6857	12,96641	40,35759

Realizado por: Ochoa F. & Uchupanta B., 2020.

### 3.2.2.2. Análisis estadístico de las distancias de frenado de las pastillas de freno Double Link Brake (DLBE) y Brake Pak (BPP).

La Tabla 6-3 muestra las estadísticas del grupo, que indica el número de pruebas realizadas en las dos pastillas de freno, en este caso, hay 15 pruebas para la experimentación. El resultado de la distancia de frenado promedio de las pastillas de freno Double Link Brake (DLBE) es mayor que el resultado de la distancia de frenado promedio de las pastillas de freno Brake Pak (BPP), lo que indica que hay una diferencia en la distancia de frenado promedio. Cabe mencionar que la unidad utilizada para medir la distancia de frenado es el metro lineal (m).

**Tabla 14-3:** Estadística de grupo para la distancia de frenado

Estadísticas de grupo					
	Marca de pastilla	N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
DISTANCIA	Double Link Brake (DLBE)	15	32,7467	1,86428	,48135
	Brake Pak (BPP)	15	28,0400	,59378	,15331

Realizado por: Ochoa F. & Uchupanta B., 2020.

En la Tabla 7-3 se observa la prueba de muestras independientes la cual ratifica que los valores medios de distancia de frenado obtenidos en la Tabla 6-3 si existe un valor de significancia importante, estadísticamente si el valor de significancia (bilateral) es menor a 0,05 indica que existe una diferencia significativa. Para nuestro caso de estudio el valor de significancia (bilateral) si es menor a 0,05 afirmando que los valores de las medias de distancia de frenado presentan una diferencia significativa.

**Tabla 15-3:** Prueba T para la distancia de frenado

Prueba de muestras independientes										
		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		Prueba t para la igualdad de medias						
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
									Inferior	Superior
<b>DISTANCIA</b>	Se asumen varianzas iguales	14,379	,001	9,317	28	,000	4,70667	,50518	3,67185	5,74148
	No se asumen varianzas iguales			9,317	16,812	,000	4,70667	,50518	3,63992	5,77341

Realizado por: Ochoa F. & Uchupanta B., 2020.

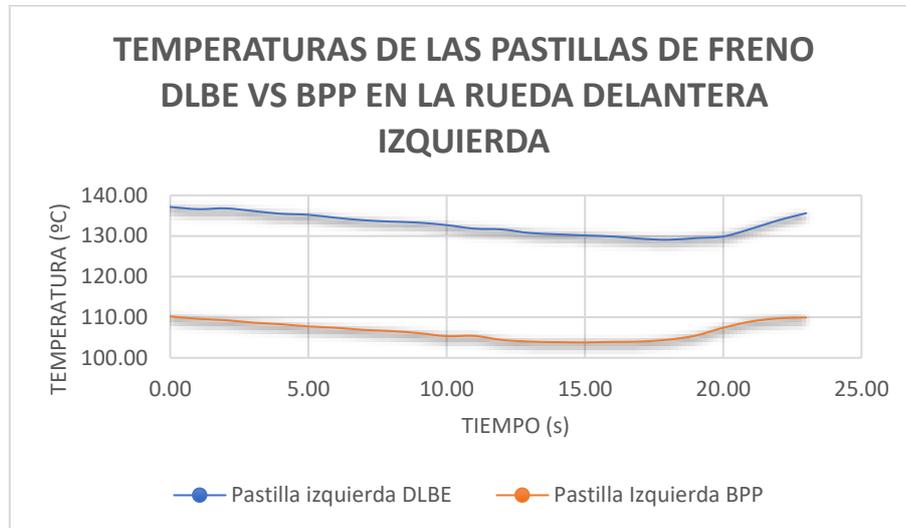
### 3.3. Discusión de resultados

Los siguientes resultados se obtuvieron a través de la prueba de pista utilizando las pastillas Double Link Brake (DLBE) y las pastillas de freno Brake Pak (BPP): temperatura de la pastilla de freno, distancia de frenado.

#### 3.3.1. Temperatura de pastillas de freno

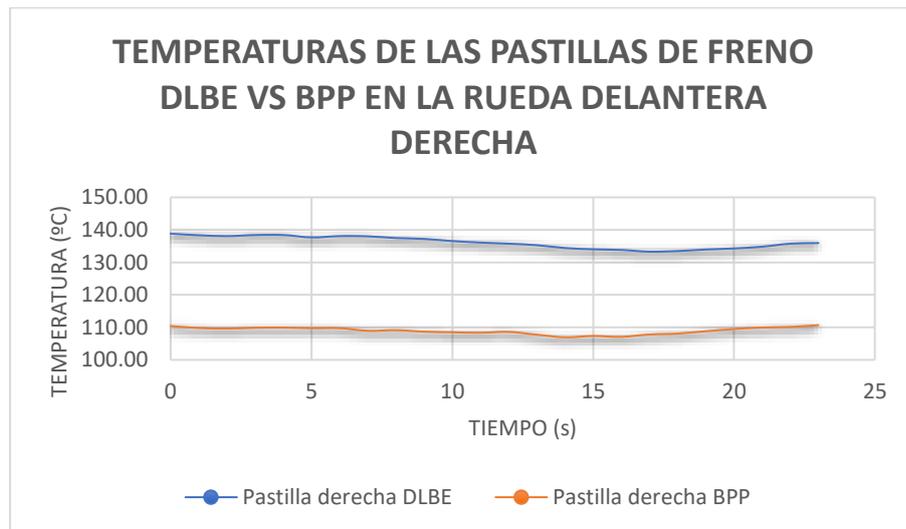
En el Gráfico 25-3 y 26-3 se presenta los resultados de los valores de temperatura de las pastillas de freno Double Link Brake (DLBE) vs pastillas de freno Brake Pak (BPP) de la rueda delantera izquierda y derecha, estos valores fueron obtenidos bajo las mismas condiciones de trabajo. La tendencia de las pastillas de freno Double Link Brake (DLBE) es la de acumular mayor temperatura siendo el valor máximo de temperatura registrado de 140 grados Celsius. Por otra parte, en las pastillas de freno Brake Pak (BPP) se puede evidenciar que su constitución disipa el calor de una manera óptima, esto debido que el valor máximo de temperatura registrado es de 115 grados Celsius teniendo una diferencia de 25 grados Celsius con respecto a la anterior.

Gracias al método estadístico T Student de la Tabla 5-3, se aprecia el valor de significancia (bilateral) inferior al de 0,05, dicho resultado se lo interpreta como la existencia de una diferencia significativa entre las temperaturas de las dos marcas de pastilla de freno analizadas, como se menciona anteriormente las pastillas Double Link Brake (DLBE) tienden a trabajar a rangos de temperaturas más elevadas que la de la marca Brake Pak (BPP).



**Gráfico 27-3:** Temperaturas medias entre las pastillas de freno DLBE y BPP en la rueda izquierda delantera.

**Realizado por:** Ochoa F. & Uchupanta B., 2020.



**Gráfico 28-3:** Comparativa de las temperaturas medias entre las pastillas de freno DLBE y BPP en la rueda derecha

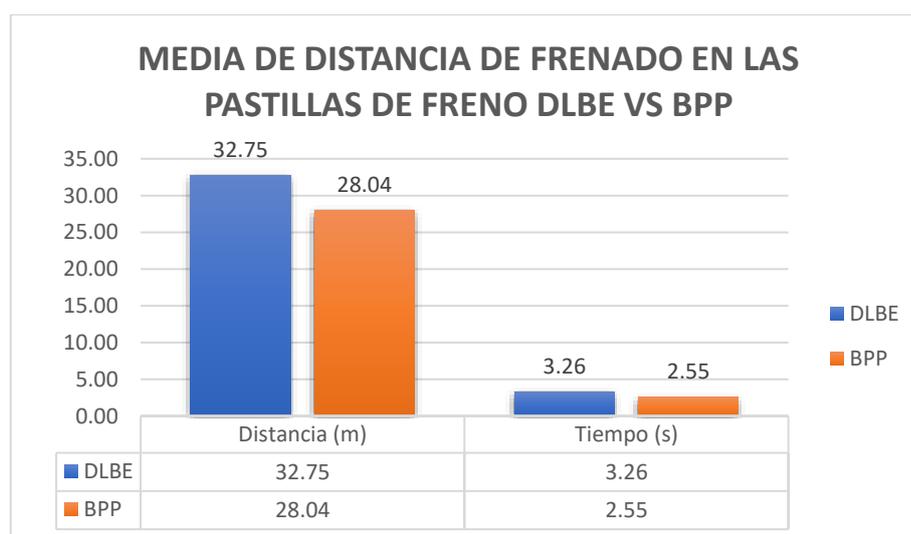
**Realizado por:** Ochoa F. & Uchupanta B., 2020.

Por otra parte en los resultados de la investigación de VACA SOLÍS (2014, p. 8) expone lo siguiente: La disipación de calor del sistema de frenos es esencial para el funcionamiento normal del sistema, porque la convección generada entre el disco y la pastilla de freno juega un papel importante pues esto afecta directamente a la eficacia de frenado.

### 3.3.2. Distancia de frenado

El Gráfico 27-3 muestra la distancia de frenado entre la pastilla de freno Double Link Brake (DLBE) y la pastilla de freno Brake Pak (BPP) obtenida en las mismas condiciones. La diferencia en la distancia de frenado es de 4,71 metros, la mejor distancia de frenado de la marca Brake Pak (BPP) es de 28,04 metros y la distancia de la marca Double Link Brake (DLBE) es de 32,75 metros.

De igual forma, para este apartado se aplicó el método estadístico T student donde se apreció que si existe una diferencia significativa entre las distancias de frenado de la marca Double Link Brake (DLBE) y la marca Brake Pak (BPP), ya que el valor de significancia (bilateral) que se observa en la Tabla 7-3 es inferior a 0,05, esto corrobora que la diferencia que existe de 4,71 metros de distancia es significativa entre las dos marcas de pastillas de freno mencionadas.



**Gráfico 29-3:** Comparativa de las distancias de frenado y el tiempo de accionamiento del pedal de freno de las pastillas de freno DLBE y BPP.

**Realizado por:** Ochoa F. & Uchupanta B., 2020.

Según Paludi, (2017, p. 13 ) en su estudio de investigación hacen mención a la “Influencia de la temperatura de frenos en la determinación de la eficiencia de frenado”, la conclusión es que existe

un coeficiente de correlación de Pearson de 0,963 entre las variables temperatura y distancia de la huella de frenado. Cuando la temperatura de frenado es mayor, la distancia de la huella de frenado aumenta a 1,23 metros. Cabe mencionar que su temperatura de investigación está entre 45°C y 60°C. El valor medido a temperatura normal de funcionamiento está comprendido entre 25°C y 60°C.

Si se compara los resultados obtenidos de la investigación de Paludi (2017, p. 13), con los resultados de la presente investigación haciendo referencia al valor de la correlación de Pearson se tiene que el valor de correlación de Pearson de la encuesta de Paludi es de 0,963, mientras que el valor de correlación que se muestra en la Tabla 3-3 es de 0,635, a pesar de que los valores de correlación obtenidos de las diferentes investigaciones realizadas no son iguales debido a que la metodología aplicada para la obtención de datos es diferente, esta se la puede interpretar de la misma manera, es decir que en ambos casos de estudio las variable de temperatura tienen una correlación con las distancia de frenado.

Mediante el método anterior se pueden asociar las siguientes variables: temperatura de la pastilla de freno, distancia de frenado y marca de la pastilla de freno. Esto confirma que el resultado obtenido de la temperatura de las pastillas de freno y la marca de comercialización, serán incidentes en aumentar o disminuir la eficacia de frenado.

Si el valor de correlación de Pearson entre la distancia de frenado y la temperatura es positivo, indica que la correlación es proporcional, es decir, cuanto mayor sea la temperatura, mayor será la distancia de frenado. Por otro lado, si el valor de correlación de Pearson de la temperatura y la distancia de frenado con respecto a la marca de la pastilla de freno da un valor negativo, indica que tienen una correlación proporcional inversa.

En resumen, lo siguiente se interpreta como: cuanto mayor sea el precio de mercado de las pastillas de freno, su temperatura de operación será menor, en comparación con las de precio de mercado económico. El valor de correlación entre la distancia de frenado y la marca de la pastilla de freno se las llega a interpretar de igual manera.

De acuerdo con los resultados de la investigación de MÉNDEZ TORRES y MUÑOZ LLIVICHUZHCA (2017, p. 148), señalan lo siguiente: Es factible crear un prototipo para medir la temperatura de frenado, que se pueda aplicar a varios vehículos. Con este dispositivo, la temperatura de los frenos se puede monitorear en tiempo real, para proporcionar al conductor información sobre la temperatura del sistema de frenos. Si la situación se agrava, el conductor

reducirá la velocidad, de modo que el sistema pueda restaurar la eficacia y seguridad, reduciendo así el número de accidentes por estos motivos. A través de esto, se confirma que además de este factor que afecta directamente a la eficacia de frenado, los datos de temperatura obtenidos en la prueba de pista realizada son verdaderos y precisos.

En los resultados de la investigación de VACA SOLÍS (2014, p. 8), señaló que la disipación de calor del sistema de frenado es muy importante para el funcionamiento normal del sistema, esto se debe a que los frenos de disco y pastillas juegan un papel importante, porque esto afecta directamente a la eficacia de frenado.

## CONCLUSIONES

Uno de los factores que incide directamente en la eficacia de frenado es la temperatura de funcionamiento de las pastillas de freno, que está directamente relacionada con la marca de comercialización, porque si el costo de comercialización de las pastillas de freno es alto, entonces tendrá un alto rendimiento, así que no importa que tanto se eleve la temperatura, esta investigación demostró que seguirá funcionando de la mejor manera.

Al implementar un sistema electrónico para adquirir los datos de temperatura de las pastillas de freno de la rueda delantera, se logró almacenar y ordenar los datos para su posterior análisis, esto ayudó de gran manera para realizar un estudio estadístico el cual tenía como objetivo comprobar que la temperatura de la pastilla afecta directamente a la eficacia de frenado, así mismo se comprobó que existe una correlación entre el precio de comercialización de las marca de pastilla con las prestaciones que estas brindan.

La eficiencia de frenado proporcionada por las dos marcas de pastillas de freno cumple con los estándares de seguridad y eficiencia, pero hay una diferencia considerable en la eficacia de frenado entre las dos pastillas de freno, porque las pastillas de freno de la marca Brake Pak (BPP) funcionan en un rango de temperatura por debajo de 115 grados Celsius. En comparación con la marca Double Link Brake (DLBE), esta variable es proporcional a la distancia de frenado, porque si se compara la marca Brake Pak (BPP) con la marca Double Link Brake (DLBE), la distancia de frenado se reduce en 4,35 metros. Esto confirma que, si el precio comercial de las pastillas de freno es alto, estas proporcionarán un mejor rendimiento y por lo tanto su eficacia de frenado también es alta, proporcionando así una mayor seguridad durante el frenado.

Aunque los vehículos de la subcategoría M1 tienen un sistema ABS, su eficiencia de frenado sigue viéndose muy afectada por la temperatura de las pastillas de freno, lo que indica que la inversión en pastillas de freno de mayor calidad ayudará a mejorar el rendimiento del vehículo. Porque si se añade un sistema ABS (que es un sistema de seguridad activa) y se tiene la ventaja de seguridad de las pastillas de freno de alta calidad, entonces el vehículo puede frenar bajo cualquier circunstancia para obtener una mayor seguridad.

## **RECOMENDACIONES**

Blindar todo el cableado que conforman el sistema de adquisiciones de datos para evitar variaciones eléctricas producidas por los sistemas eléctricos auxiliares del vehículo.

Antes de poner en funcionamiento el sistema de adquisición de datos de temperatura, se debe calibrar de manera óptima para evitar posibles incongruencias en la toma de datos.

No se debe exceder la temperatura de frenado óptima, ya que afectarán el funcionamiento normal de las pastillas de freno y pueden provocar accidentes y una recopilación de datos incorrecta.

Después de cada prueba de seguimiento, dependiendo de la situación, se debe realizar una revisión completa y mantenimiento de los sistemas de freno de disco y tambor.

Los tipos de análisis estadísticos recomendados son correlación de Pearson y T Student, porque estos dos métodos se adaptan fácilmente al modelo de investigación propuesto en este estudio y los resultados son fáciles de interpretar, destacando mejor los factores que intervienen en el frenado.

## BIBLIOGRAFÍA

- 330OHMS**, *Qué es una Protoboard?*. [en línea]. 2016. [Consulta: 15 diciembre 2020]. Disponible en: <https://blog.330ohms.com/2016/03/02/protoboards/>.
- ACERO ANGAMARCA, I.A. & CALDERÓN PERALTA, E.A.**, *Rediseño De Un Disco De Frenos Normal a Ventilado Mediante Mecanizado Para La Comparación De La Eficiencia Con Otro Disco Convencional*. [en línea], 2019. pp. 7-17. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/13555>.
- ADMIN**, *Arduino Uno Rev3. Arduino.Cc* [en línea]. 2021. [Consulta: 14 diciembre 2020]. Disponible en: <https://store.arduino.cc/usa/arduino-uno-rev3>.
- AGENCIA NACIONAL DE TRÁNSITO**, *Estadísticas de siniestros de tránsito. 2018* [en línea]. 2020. [Consulta: 30 octubre 2020]. Disponible en: [https://www.ant.gob.ec/?page\\_id=2670](https://www.ant.gob.ec/?page_id=2670).
- ARDUINO.CC**, *Arduino (IDE) - Software. Arduino* [en línea]. 2019. [Consulta: 15 diciembre 2020]. Disponible en: <https://www.arduino.cc/en/software>.
- ARLEN CERÓN, I., PEREA DE LA FUENTE, M.A. & FIGUEROA VELÁZQUEZ, J.G.**, *Métodos empíricos de la investigación parte 1. Instituto de Ciencias Económico Administrativas* [en línea], 2020. pp. 9-12. [Consulta: 15 diciembre 2020]. Disponible en: [https://www.uaeh.edu.mx/docencia/P\\_Presentaciones/icea/asignatura/mercadotecnia/2020/metodos-empiricos.pdf](https://www.uaeh.edu.mx/docencia/P_Presentaciones/icea/asignatura/mercadotecnia/2020/metodos-empiricos.pdf).
- BAUZÁ, F.**, *Estudio del sistema de frenado en los vehículos ligeros. Universidad politecnica de Catalunya* [en línea], 2018. pp. 2-3. Disponible en: [https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/113326/REPORT\\_470.pdf](https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/113326/REPORT_470.pdf).
- BELHOCINE, A. & AFZAL, A.**, *FEA Analysis of coupled thermo-mechanical response of grey cast iron material used in brake discs. Revista científica* [en línea], 2019. vol. 3, no. 36, pp. 280-296. ISSN 0124-2253. DOI 10.14483/23448350.14827. Disponible en: <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/revcie/article/view/14827>.
- BRAKEONE**, *FRICCIÓN*. [en línea]. 2018. [Consulta: 2 diciembre 2020]. Disponible en: <https://www.brakeone.mx/informacion-sobre-frenos/>.
- CASTILLERO MIMEZA, O.**, *Los 15 tipos de actitudes. Psicología y Mente* [en línea]. 2018. [Consulta: 14 diciembre 2020]. Disponible en: <https://psicologiymente.com/psicologia/tipos-de-actitudes>.
- CHIROQUE, J.**, *Análisis de los sistemas de frenos de un vehículo - determinación del sistema de frenos óptimo. TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE: Ingeniero Mecánico Electricista* [en línea], 2021. pp. 1-67. Disponible en:

[http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/46356/Chiroque\\_CJC-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/46356/Chiroque_CJC-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y).

- CRIADO, E.**, *Diseño y cálculo del sistema de frenado para un prototipo formula student.*, 2012. pp. 248.
- FALASCA, G.**, *Manual tecnico pastillas freno.* Academia [en línea]. 2016. [Consulta: 25 noviembre 2020]. Disponible en: [https://www.academia.edu/7457719/Manual\\_tecnico\\_pastillas\\_freno](https://www.academia.edu/7457719/Manual_tecnico_pastillas_freno).
- GAYOL, A.M.**, *Tipos de sistemas de frenado en automóviles.* ResearchGate [en línea], 2020. no. 30, pp. 3-5. DOI 10.13140/RG.2.2.23802.93126. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/344876843\\_Tipos\\_de\\_sistemas\\_de\\_frenado\\_en\\_automoviles](https://www.researchgate.net/publication/344876843_Tipos_de_sistemas_de_frenado_en_automoviles).
- GIL MARTINEZ, D.H.**, *Manual del automovil.* En: CULTURAL S.A. (ed.). Madrid: s.n., 2016. pp. 970. ISBN 84-8055-269-7.
- GUTIERREZ, N. & VINUEZA LOZADA, A.F.**, *Análisis por el método de elementos finitos del comportamiento de las pastillas de freno ABS con base de acero y zinc discretizando el elemento continuo utilizando software CAE. Enfoque UTE* [en línea], 2018. vol. 9, no. 1, pp. 188-203. ISSN 1390-9363. DOI 10.29019/enfoqueute.v9n1.259. Disponible en: <https://ingenieria.ute.edu.ec/enfoqueute/index.php/revista/article/view/259>.
- HUBOR**, *¿Qué es proteus?*. [en línea]. 2015. [Consulta: 15 diciembre 2020]. Disponible en: <https://www.hubor-proteus.com/proteus-pcb/proteus-pcb/2-proteus.html>.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y CENSOS**, *Vehículos Matriculados – Serie Histórica 2008-2014* |. INEC [en línea]. 2018. [Consulta: 6 noviembre 2020]. Disponible en: <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/vehiculos-matriculados-serie-historica-2008-2014/>.
- ISO, B.S.**, *Passenger cars — Stopping distance at straight-line braking with ABS — Open-loop test method.* ISO [en línea]. 2007. Disponible en: <https://www.iso.org/standard/40588.html>.
- KASHIMA UNIVERSITY**, *Líquido de frenos: Comprobaciones.* [en línea]. 2019. [Consulta: 29 noviembre 2020]. Disponible en: <http://kashima.campuseina.com/mod/book/view.php?id=7590&chapterid=9375>.
- LUIS, L.**, *Arduino Y El Termómetro Infrarrojo a Distancia Mlx90614.* [en línea]. 2020. [Consulta: 14 diciembre 2020]. Disponible en: <https://www.luisllamas.es/arduino-y-el-termometro-infrarrojo-a-distancia-mlx90614/>.
- MARTINEZ, A.X. & TOASA, W.F.**, *Análisis Tribológico Comparativo De Pastillas De Freno Con Fibras De Vidrio Y Cabuya Como Materiales Reemplazantes Al Amianto.* [en línea], 2019. pp. 30-31. Disponible en:

<http://dspace.espe.edu.ec/bitstream/123456789/13469/1/65T00316.pdf>.

- MAXELECTRONICS**, *Sensor de Temperatura MLX90614*. [en línea]. 2017. [Consulta: 13 enero 2021]. Disponible en: [https://maxelectronica.cl/temperatura-y-humedad/296-sensor-de-temperatura-i2c-infrarrojo-ir-gy-906-modelo-mlx90614.html?search\\_query=mlx90614&results=1](https://maxelectronica.cl/temperatura-y-humedad/296-sensor-de-temperatura-i2c-infrarrojo-ir-gy-906-modelo-mlx90614.html?search_query=mlx90614&results=1).
- PALUDI, A.A.**, *Influencia de la temperatura de frenos en la determinación de la eficiencia de frenado*. *Revista Skopein* [en línea], 2017. vol. 1, no. 18, pp. 13. Disponible en: <http://www.skopein.org/ojs/index.php/1/article/view/114/107>.
- PAÚL WILFRIDO MÉNDEZ TORRES**, *Diseño E Implementación En Un Sistema De Medición De Temperatura De Frenos De Disco a Bordo En Un Vehículo*. [en línea], 2017. pp. 148. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/18786/1/CD-8176.pdf>.
- PÉREZ MONTIEL, H.**, *Física general*. . Primera Ed. Mexico: Grupo Editorial Patria, 2016. pp. 283-284,180.
- QUESTIONPRO**, *¿Qué es la investigación experimental?*. [en línea]. 2018. [Consulta: 15 diciembre 2020]. Disponible en: [https://www.questionpro.com/blog/es/investigacion-experimental/#:~:text=La investigación experimental es cualquier,miden como sujeto del experimento.&text=El ejemplo más simple de,es una prueba de laboratorio](https://www.questionpro.com/blog/es/investigacion-experimental/#:~:text=La%20investigaci%C3%B3n%20experimental%20es%20cualquier,miden%20como%20sujeto%20del%20experimento.&text=El%20ejemplo%20m%C3%A1s%20simple%20de,es%20una%20prueba%20de%20laboratorio.).
- REYES CAMPAÑA, G.G. & TAMAYO BENAVIDES, J.P.**, *Análisis del desempeño de los frenos en vehículos que incorporen el sistema antibloqueo (ABS) en caminos irregulares*. [en línea], 2015. pp. 185. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/11953/1/CD-6601.pdf>.
- ROCHA-HOYOS, J.C., LLANES-CEDENO, E.A., CELI-ORTEGA, S.F. & PERALTA-ZURITA, D.C.**, *Effect of the addition of biodiesel on the performance and opacity of a diesel engine*. *Informacion Tecnologica* [en línea], 2019. vol. 30, no. 3, pp. 137-146. ISSN 07180764. DOI 10.4067/S0718-07642019000300137. Disponible en: [http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-07642019000300137&lng=en&nrm=iso&tlng=en](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642019000300137&lng=en&nrm=iso&tlng=en).
- RODRÍGUEZ GARCÍA, N.J. & NIETO SÁNCHEZ, I.C.**, *Consideraciones para el diseño de un sistema diagnóstico de frenos de disco en un vehículo particular*. *AVANCES <BR>Investigación en Ingeniería* [en línea], 2017. vol. 14, pp. 76. ISSN 1794-4953. DOI 10.18041/1794-4953/avances.1.1286. Disponible en: <http://revistas.unilibre.edu.co/index.php/avances/article/view/1286>.
- SILVA LIMA, M., FONTANELLA SANTIAGO, R., PEDRO MACIEL TRAJANO, J., CHAHIM PEREIRA, L. & ROCHA DE ABREU, S.**, *Controle De Temperatura Com Arduíno*. *Revista Mythos* [en línea], 2020. vol. 12, no. 2, pp. 48-55. ISSN 1984-0098.

- DOI 10.36674/mythos.v12i2.308. Disponible en:  
<https://periodicos.unis.edu.br/index.php/mythos/article/view/308>.
- SN**, *Descripción y eficacia del sistema de frenado*. Kashima University [en línea]. 2020 [Consulta: 30 noviembre 2020]. Disponible en:  
<http://kashima.campuseina.com/mod/book/view.php?id=7679>.
- SUBDEPARTAMENTO DE AUSCULTACIONES Y PROSPECCIONES**, *Adherencia Superficial*. En: M.; D. de V.; L. NACIONAL (ed.) [en línea]. 2016. Chile: s.n., pp. 3. Disponible en:  
<http://www.vialidad.cl/areasdevialidad/laboratorionacional/MaterialCursos/Adherencia Superficial 10.03.pdf>.
- TDROBOTICA**, *Cable USB Tipo AB 150cm*. [en línea]. 2020. [Consulta: 15 diciembre 2020]. Disponible en: <https://tienda.tdrobotica.co/cables-conectores-terminales-cajas-protobaords/931-cable-usb-tipo-ab-150cm.html>.
- VACA, P., CASTRO, J. & QUIRÓZ, L.**, *Banco de pruebas para el análisis y comportamiento térmico del sistema de frenos de disco y tambor en automóviles*. [en línea], 2014. pp. 8. Disponible en: <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/8198/1/T-ESPEL-MAI-0459.pdf>.
- VALLE HERNÁNDEZ, L.**, *Termómetro infrarrojo con Arduino MLX90614. Programar Fácil* [en línea]. 2019. [Consulta: 13 enero 2021]. Disponible en:  
<https://programarfácil.com/blog/arduino-blog/termometro-infrarrojo-con-arduino-mlx90614/>.
- VELASTEGUÍ CARRILLO, A.J.**, *Los materiales de fricción y su influencia en la eficiencia de frenado*. [en línea], 2015. Disponible en:  
<http://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/4627>.
- WILLYFOX**, *Lcd 16x2. TodoElectrodo* [en línea]. 2013. [Consulta: 15 diciembre 2020]. Disponible en: <http://todoelectrodo.blogspot.com/2013/02/lcd-16x2.html>.

## ANEXOS

### ANEXO A: Código Arduino

```
#include <Wire.h>
#include <SparkFunMLX90614.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>

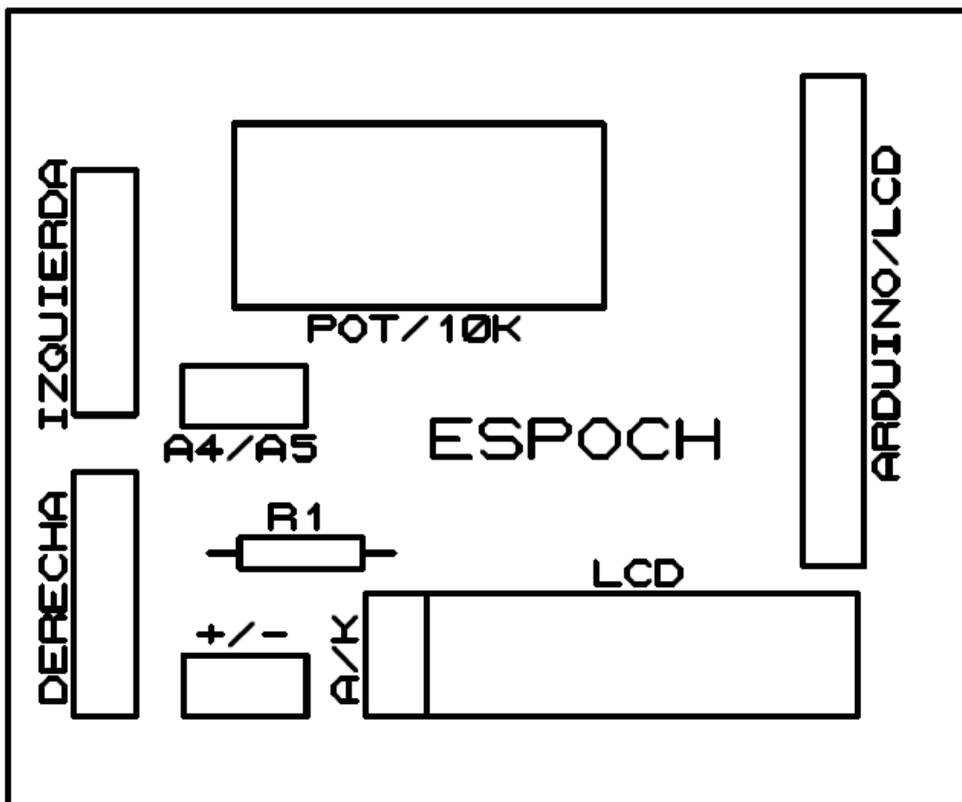
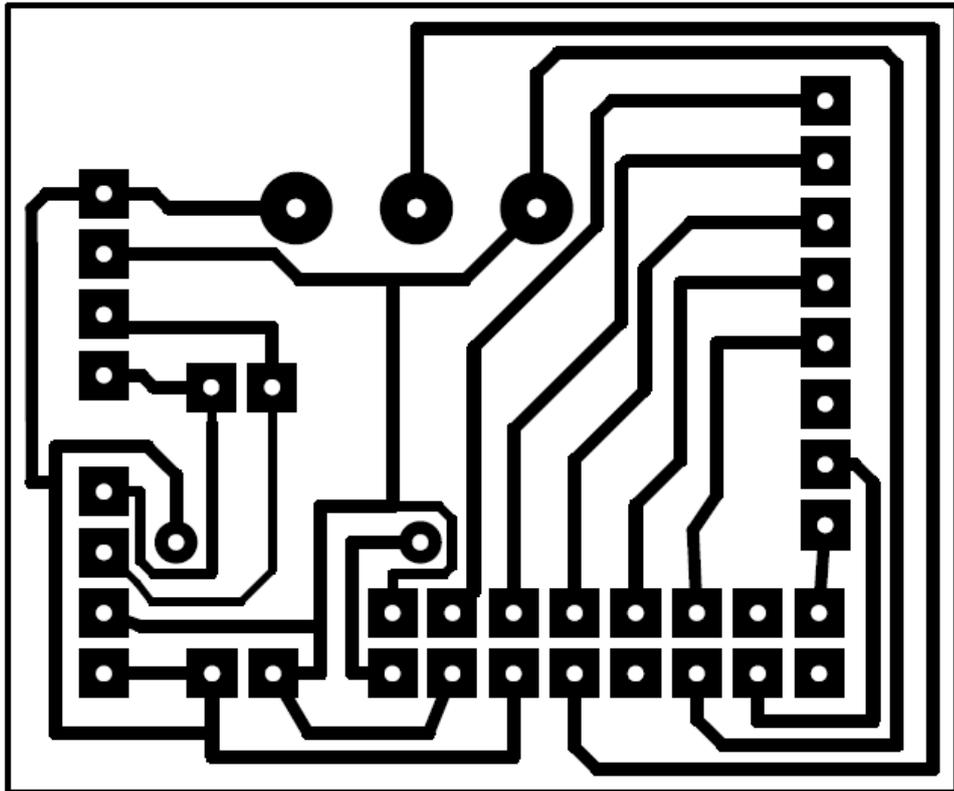
IRTherm termometro1; //Termómetro 1
IRTherm termometro2; //Termómetro 2
const int rs = 12, en = 11, d4 = 5, d5 = 4, d6 = 3, d7 = 2;
LiquidCrystal_I2C lcd(rs, en, d4, d5, d6, d7); //LCD 16x2

void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  termometro1.begin(0x50); //Inicia el termómetro con dirección 0x50
  termometro2.begin(0x55); //Inicia el termómetro con dirección 0x55
  termometro1.setUnit(TEMP_C); //Celcius como unidad del termómetro 1
  termometro2.setUnit(TEMP_C); //Celcius como unidad del termómetro 2
  lcd.begin(16,2); //Inicia la LCD
}

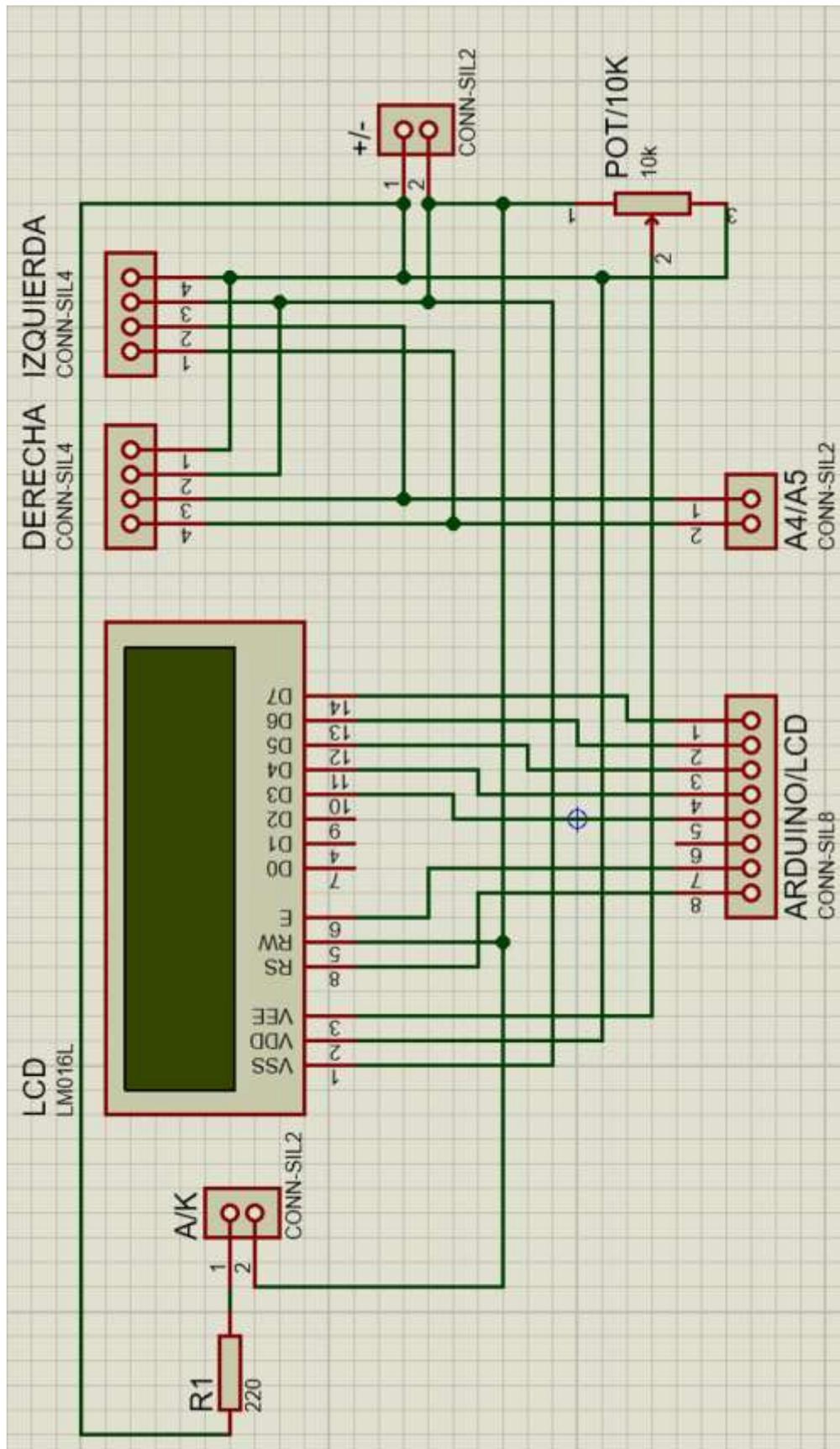
void loop()
{
  if (termometro1.read())
  {
    lcd.setCursor(7, 0);
    lcd.print("IZQUIERDA");
    lcd.setCursor(1, 0);
    lcd.print(String(termometro1.object(), 0)); //Imprime el valor del termómetro 1
    lcd.print((char)223); //para escribir el caracter °
    lcd.print("C");
  }
}
```

```
if (termometro2.read())
{
  lcd.setCursor(7, 1);
  lcd.print("DERECHA");
  lcd.setCursor(1, 1);
  lcd.print(String(termometro2.object(), 0)); //Imprime el valor del termómetro 2
  lcd.print((char)223);
  lcd.print("C");
}
int conta;
Serial.print(String(termometro1.object(), 0)); //(analogRead(A5))
Serial.print(", ");
Serial.print(String(termometro2.object(), 0)); //(analogRead(A0))
Serial.println();
delay(1000); //Espera 1 segundo para las proximas lecturas
}
```

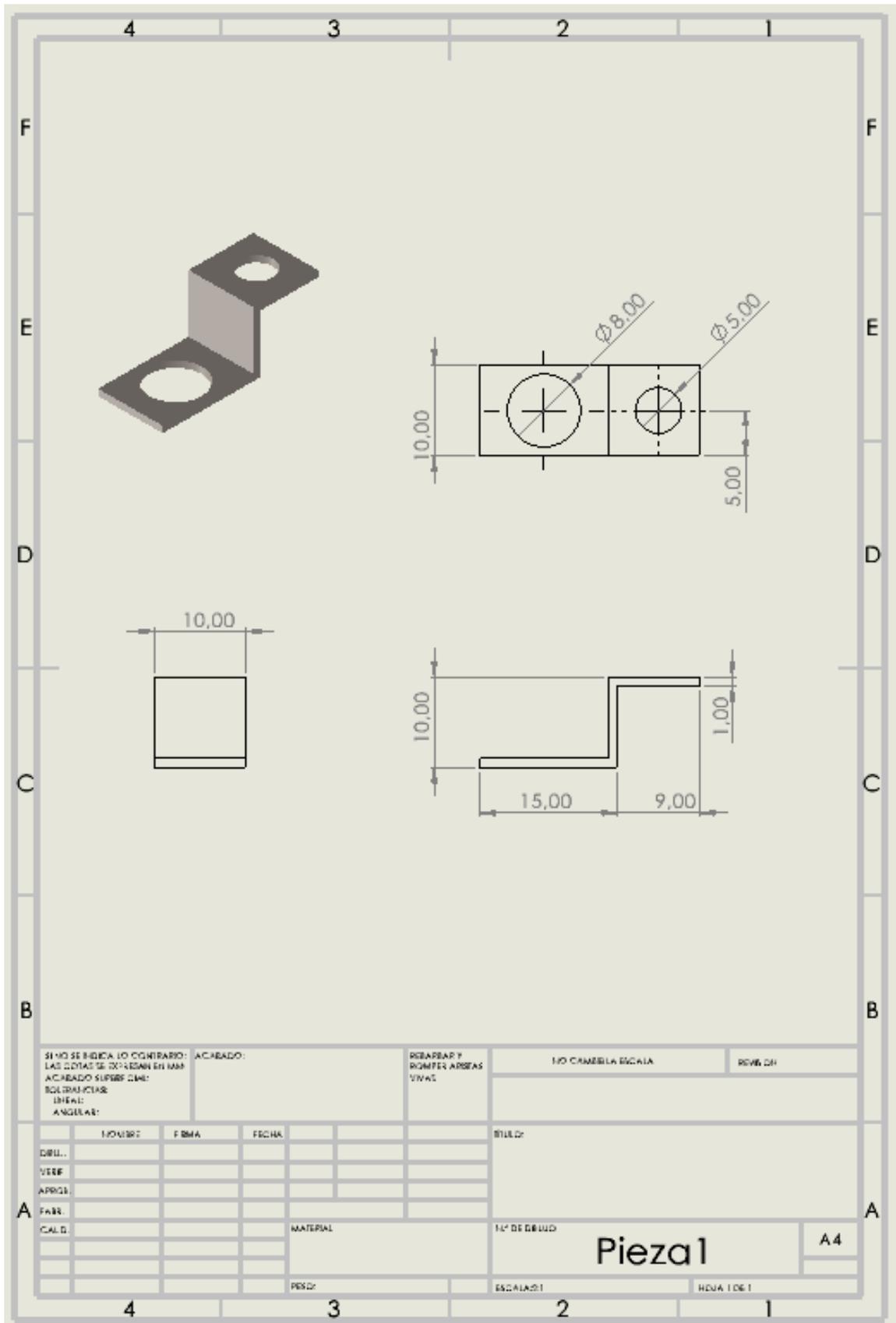
ANEXO B: Circuito impreso PCB



ANEXO C: Diagrama de conexión



**ANEXO D: Platina plano**



**ANEXO E:** Tabla de temperaturas pastillas DLBE1

TEMPERATURAS PASTILLAS DLBE2 (°C)												
Tiempo (s)	1era prueba		2da prueba		3ra prueba		4ta prueba		5ta prueba		MEDIA	
	Past Izq	Past. Der	Past Izq	Past. Der	Past Izq	Past. Der	Past Izq	Past. Der	Past Izq	Past. Der	Past Izq	Past. Der
23,00	135	133	131	131	123	124	125	124	138	131	130,40	128,60
22,00	133	132	130	133	118	124	124	125	135	132	128,00	129,20
21,00	132	134	125	132	116	122	120	124	129	129	124,40	128,20
20,00	126	133	123	131	117	120	116	123	126	128	121,60	127,00
19,00	123	132	123	129	117	122	116	122	126	127	121,00	126,40
18,00	123	129	123	130	117	121	116	122	126	128	121,00	126,00
17,00	124	129	123	129	119	122	116	122	127	128	121,80	126,00
16,00	124	131	125	130	119	122	116	122	127	127	122,20	126,40
15,00	124	130	125	129	119	123	118	122	131	129	123,40	126,60
14,00	125	131	125	131	119	124	119	123	131	129	123,80	127,60
13,00	125	132	125	131	119	124	118	123	131	131	123,60	128,20
12,00	127	131	125	131	120	125	119	124	131	132	124,40	128,60
11,00	127	132	125	131	120	124	119	124	131	132	124,40	128,60
10,00	129	133	126	132	120	125	125	123	133	133	126,60	129,20
9,00	129	134	127	132	120	125	125	125	133	133	126,80	129,80
8,00	129	134	127	133	121	126	125	128	133	133	127,00	130,80
7,00	129	133	129	134	122	126	125	128	133	133	127,60	130,80
6,00	132	134	129	135	122	126	124	127	133	134	128,00	131,20
5,00	132	135	131	135	124	126	124	128	134	134	129,00	131,60
4,00	132	137	131	135	124	127	127	129	134	134	129,60	132,40
3,00	137	138	131	135	127	127	127	130	134	134	131,20	132,80
2,00	137	139	131	135	127	126	128	130	134	133	131,40	132,60
1,00	137	139	131	135	127	125	128	131	136	134	131,80	132,80
0,00	138	137	131	134	129	125	129	131	136	137	132,60	132,80

**ANEXO F:** Tabla de temperaturas pastillas DLBE2

TEMPERATURAS PASTILLAS DLBE2 (°C)												
Tiempo (s)	1era prueba		2da prueba		3ra prueba		4ta prueba		5ta prueba		MEDIA	
	Past Izq	Past. Der	Past Izq	Past. Der	Past Izq	Past. Der	Past Izq	Past. Der	Past Izq	Past. Der	Past Izq	Past. Der
23,00	102	97	123	114	137	129	128	119	130	128	124,00	117,40
22,00	102	98	123	113	136	129	125	118	128	126	122,80	116,80
21,00	102	97	121	112	135	130	123	115	125	123	121,20	115,40
20,00	102	96	120	112	132	127	123	114	123	122	120,00	114,20
19,00	103	96	119	112	131	127	124	115	122	121	119,80	114,20
18,00	103	97	119	111	129	125	124	118	122	122	119,40	114,60
17,00	102	97	119	112	128	125	124	116	122	122	119,00	114,40
16,00	103	98	120	114	129	126	124	118	122	123	119,60	115,80
15,00	103	99	120	113	128	127	124	117	121	125	119,20	116,20
14,00	103	99	120	113	129	127	125	118	121	123	119,60	116,00
13,00	103	99	121	113	130	128	125	118	124	125	120,60	116,60
12,00	104	98	121	113	131	128	126	118	125	125	121,40	116,40
11,00	104	98	121	113	131	130	127	118	125	126	121,60	117,00
10,00	104	98	121	115	132	130	127	119	125	127	121,80	117,80
9,00	105	100	122	115	132	131	127	121	126	128	122,40	119,00
8,00	105	100	122	116	133	131	127	120	127	129	122,80	119,20
7,00	104	101	123	117	134	132	128	120	127	130	123,20	120,00
6,00	106	101	124	117	133	131	128	122	128	132	123,80	120,60
5,00	107	99	124	116	133	132	129	122	128	132	124,20	120,20
4,00	107	98	124	117	134	134	129	124	128	133	124,40	121,20
3,00	106	98	124	118	134	135	130	123	128	133	124,40	121,40
2,00	106	98	125	117	135	136	132	123	129	135	125,40	121,80
1,00	106	97	124	117	134	136	131	123	129	134	124,80	121,40
0,00	105	98	125	118	135	136	128	119	131	136	125,60	122,20

**ANEXO G:** Tabla de temperaturas pastillas DLBE3

TEMPERATURAS PASTILLAS DLBE3 (°C)												
	1era prueba		2da prueba		3ra prueba		4ta prueba		5ta prueba		MEDIA	
Tiempo (s)	Past Izq	Past. Der	Past Izq	Past. Der	Past Izq	Past. Der	Past Izq	Past. Der	Past Izq	Past. Der	Past Izq	Past. Der
23,00	151	161	167	177	133	146	149	155	162	170	152,40	161,80
22,00	150	159	166	177	131	146	148	154	159	170	150,80	161,20
21,00	148	160	165	176	131	144	147	154	157	170	149,60	160,80
20,00	146	163	163	179	131	144	144	154	156	168	148,00	161,60
19,00	145	163	162	180	131	141	143	153	157	169	147,60	161,20
18,00	144	160	161	178	131	142	141	151	157	168	146,80	159,80
17,00	144	159	162	179	131	142	142	151	157	166	147,20	159,40
16,00	144	159	162	178	132	143	143	148	158	168	147,80	159,20
15,00	144	158	163	178	132	144	142	150	158	166	147,80	159,20
14,00	143	156	164	176	131	145	142	149	159	172	147,80	159,60
13,00	143	161	164	177	132	146	141	150	160	171	148,00	161,00
12,00	144	161	165	180	132	145	142	154	162	171	149,00	162,20
11,00	144	161	166	180	132	146	143	154	162	172	149,40	162,60
10,00	144	161	166	180	133	147	143	153	162	172	149,60	162,60
9,00	146	161	166	182	134	147	144	153	163	171	150,60	162,80
8,00	147	160	166	181	134	147	144	153	163	171	150,80	162,40
7,00	147	162	166	182	134	147	144	153	163	172	150,80	163,20
6,00	147	162	166	181	135	146	144	153	166	170	151,60	162,40
5,00	147	161	166	181	135	147	145	152	169	165	152,40	161,20
4,00	147	161	167	181	135	146	145	152	168	168	152,40	161,60
3,00	148	160	168	179	135	147	144	152	169	167	152,80	161,00
2,00	148	159	169	178	136	144	145	152	170	166	153,60	159,80
1,00	148	161	169	178	136	145	145	152	168	168	153,20	160,80
0,00	148	157	167	177	137	151	144	154	169	168	153,20	161,40

**ANEXO H:** Tabla de temperaturas pastillas BPP1

TEMPERATURAS PASTILLAS BPP1 (°C)												
Tiempo (s)	1era prueba		2da prueba		3ra prueba		4ta prueba		5ta prueba		MEDIA	
	Past Izq	Past. Der	Past Izq	Past. Der	Past Izq	Past. Der	Past Izq	Past. Der	Past Izq	Past. Der	Past Izq	Past. Der
23,00	91	87	103	103	113	114	120	119	130	131	111,40	110,80
22,00	91	87	103	102	113	115	119	119	130	130	111,20	110,60
21,00	90	87	103	102	109	114	118	120	130	130	110,00	110,60
20,00	88	87	103	101	107	113	115	117	129	129	108,40	109,40
19,00	88	87	101	102	106	111	113	117	126	128	106,80	109,00
18,00	86	85	101	102	106	111	111	117	125	129	105,80	108,80
17,00	84	85	99	102	106	111	113	114	121	127	104,60	107,80
16,00	83	83	97	99	106	111	111	115	119	125	103,20	106,60
15,00	84	84	96	99	106	113	111	116	118	123	103,00	107,00
14,00	84	84	97	99	106	110	111	114	118	123	103,20	106,00
13,00	84	84	97	99	106	111	112	116	119	124	103,60	106,80
12,00	84	85	97	101	107	113	113	116	119	124	104,00	107,80
11,00	86	84	97	100	108	113	113	116	119	125	104,60	107,60
10,00	86	85	97	100	109	113	113	117	119	127	104,80	108,40
9,00	86	85	98	102	109	114	114	117	119	125	105,20	108,60
8,00	86	86	98	100	110	115	114	118	120	125	105,60	108,80
7,00	86	86	100	101	110	115	115	119	120	124	106,20	109,00
6,00	86	87	100	101	110	116	116	118	121	126	106,60	109,60
5,00	87	87	100	101	111	116	117	119	121	127	107,20	110,00
4,00	88	87	100	102	111	117	119	121	122	127	108,00	110,80
3,00	89	88	100	102	112	117	119	120	122	127	108,40	110,80
2,00	89	88	100	102	114	118	121	121	123	126	109,40	111,00
1,00	90	88	100	102	114	118	121	122	124	127	109,80	111,40
0,00	90	88	100	103	114	120	127	122	125	128	111,20	112,20

**ANEXO I:** Tabla de temperaturas pastillas BPP2

TEMPERATURAS PASTILLAS BPP2 (°C)												
	1era prueba		2da prueba		3ra prueba		4ta prueba		5ta prueba		MEDIA	
Tiempo (s)	Past Izq	Past. Der	Past Izq	Past. Der	Past Izq	Past. Der	Past Izq	Past. Der	Past Izq	Past. Der	Past Izq	Past. Der
23,00	104	103	112	110	120	120	76	76	89	93	100,20	100,40
22,00	103	101	113	110	120	120	76	75	90	93	100,40	99,80
21,00	102	101	111	110	120	120	75	74	88	92	99,20	99,40
20,00	103	103	109	110	121	120	74	74	86	90	98,60	99,40
19,00	101	103	108	109	119	117	71	71	85	90	96,80	98,00
18,00	100	103	109	108	115	117	69	68	85	90	95,60	97,20
17,00	100	101	109	107	112	116	69	69	85	90	95,00	96,60
16,00	100	101	110	106	113	117	69	69	85	88	95,40	96,20
15,00	100	100	110	106	113	116	69	70	85	89	95,40	96,20
14,00	100	101	109	109	113	116	69	69	85	89	95,20	96,80
13,00	99	101	110	112	114	118	69	69	85	90	95,40	98,00
12,00	100	103	110	113	114	116	69	70	85	91	95,60	98,60
11,00	101	102	113	112	115	117	70	70	86	90	97,00	98,20
10,00	102	102	110	112	116	117	70	71	86	90	96,80	98,40
9,00	103	102	111	112	116	117	72	69	87	90	97,80	98,00
8,00	103	101	112	111	116	117	72	70	87	89	98,00	97,60
7,00	103	101	112	111	117	116	72	70	88	89	98,40	97,40
6,00	103	103	112	112	117	116	73	71	88	90	98,60	98,40
5,00	102	102	113	113	118	117	73	71	87	90	98,60	98,60
4,00	102	102	113	113	120	116	74	72	87	90	99,20	98,60
3,00	103	101	114	112	120	118	75	72	87	91	99,80	98,80
2,00	104	101	114	110	121	117	76	72	88	91	100,60	98,20
1,00	104	103	114	113	122	114	77	72	89	90	101,20	98,40
0,00	105	104	114	112	123	113	77	72	88	91	101,40	98,40

**ANEXO J:** Tabla de temperaturas pastillas BPP3

TEMPERATURAS PASTILLAS BPP3 (°C)												
Tiempo (s)	1era prueba		2da prueba		3ra prueba		4ta prueba		5ta prueba		MEDIA	
	Past Izq	Past. Der	Past Izq	Past. Der	Past Izq	Past. Der	Past Izq	Past. Der	Past Izq	Past. Der	Past Izq	Past. Der
23,00	88	90	123	126	121	126	128	131	131	131	118,20	120,80
22,00	87	90	123	125	120	125	128	130	130	130	117,60	120,00
21,00	86	88	124	128	121	124	129	131	128	128	117,60	119,80
20,00	86	90	123	129	118	123	126	129	123	127	115,20	119,60
19,00	85	91	121	130	115	124	123	128	120	124	112,80	119,40
18,00	84	89	120	128	114	123	122	127	120	124	112,00	118,20
17,00	84	90	121	128	115	124	123	129	119	124	112,40	119,00
16,00	84	87	122	128	115	123	124	129	121	125	113,20	118,40
15,00	84	89	122	129	115	122	123	129	121	125	113,00	118,80
14,00	83	86	123	128	116	122	124	128	120	126	113,20	118,00
13,00	83	87	123	129	115	120	125	128	119	128	113,00	118,40
12,00	83	85	123	130	115	123	125	131	122	128	113,60	119,40
11,00	83	84	124	130	116	124	125	131	125	127	114,60	119,20
10,00	83	84	124	129	115	123	125	129	125	128	114,40	118,60
9,00	83	84	123	129	116	124	128	132	126	128	115,20	119,40
8,00	83	87	124	130	117	125	130	133	127	130	116,20	121,00
7,00	82	86	123	128	118	125	130	134	127	129	116,00	120,40
6,00	82	86	124	129	119	125	132	135	128	131	117,00	121,20
5,00	82	84	124	130	120	125	133	134	128	130	117,40	120,60
4,00	81	82	126	130	119	126	133	135	129	129	117,60	120,40
3,00	81	83	125	129	120	125	134	134	129	129	117,80	120,00
2,00	81	82	125	130	120	126	134	133	129	127	117,80	119,60
1,00	80	81	126	130	119	126	134	131	130	130	117,80	119,60
0,00	80	82	126	131	119	125	134	134	131	131	118,00	120,60

**ANEXO K:** Tablas de distancia de frenado y tiempo de accionamiento del pedal de freno de las pastillas DLBE

	<b>DLBE1</b>					
	1ra prueba	2da prueba	3ra prueba	4ta prueba	5ta prueba	MEDIA
<b>Distancia (m)</b>	35	30,8	33,3	29,5	31,4	32,00
<b>Tiempo (s)</b>	3,48	3,02	3,27	2,62	3,75	3,23

	<b>DLBE2</b>					
	1ra prueba	2da prueba	3ra prueba	4ta prueba	5ta prueba	MEDIA
<b>Distancia (m)</b>	32	32,4	32,6	32,8	30,5	32,06
<b>Tiempo (s)</b>	2,9	3,15	2,7	2,8	2,92	2,89

	<b>DLBE3</b>					
	1ra prueba	2da prueba	3ra prueba	4ta prueba	5ta prueba	MEDIA
<b>Distancia (m)</b>	31,5	33,9	35,4	35,7	34,4	34,18
<b>Tiempo (s)</b>	3,1	3,53	3,92	3,95	3,78	3,66

**ANEXO L:** Tablas de distancia de frenado y tiempo de accionamiento del pedal de freno de las pastillas BPP

	<b>BPP1</b>					
	1ra prueba	2da prueba	3ra prueba	4ta prueba	5ta prueba	MEDIA
<b>Distancia (m)</b>	27,9	29,2	27,6	28	26,9	27,92
<b>Tiempo (s)</b>	2,82	2,81	2,68	2,63	2,67	2,72

	<b>BPP2</b>					
	1ra prueba	2da prueba	3ra prueba	4ta prueba	5ta prueba	MEDIA
<b>Distancia (m)</b>	28,3	28,2	27,8	28,1	27,1	27,90
<b>Tiempo (s)</b>	2,71	2,55	2,69	2,62	2,45	2,60

	<b>BPP3</b>					
	1ra prueba	2da prueba	3ra prueba	4ta prueba	5ta prueba	MEDIA
<b>Distancia (m)</b>	28,5	28,1	27,8	28,2	28,9	28,30
<b>Tiempo (s)</b>	2,18	2,11	2,43	2,36	2,56	2,33