



Powered by
Arizona State University®

INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**Proyecto Previo a la Obtención del Título de Ingeniero en
Mecánica Automotriz**

Autor: Henry Josué Friend Montesdeoca

Tutor: Ing. Erasmo García Ochoa, M.Sc.

**Análisis Comparativo de las Pastillas de Freno de un Hyundai
Santa Fe Mediante Pruebas de Frenado Rigiéndose a las Normas
SAE J299 y J2909**

Certificado

Yo, Henry Josué Friend Montesdeoca, declaro bajo juramento, que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido presentado anteriormente para ningún grado o calificación profesional y que se ha consultado la bibliografía detallada. Cedo mis derechos de propiedad intelectual a la Universidad Internacional del Ecuador, para que sea publicado y divulgado en internet, según lo establecido en la Ley de Propiedad Intelectual, reglamento y leyes.

Henry Josué Friend Montesdeoca
C.I.: 0653497336

Aprobación del Tutor

Yo, Erasmo García Ochoa certifico que conozco al autor del presente trabajo siendo responsable exclusivo tanto de su originalidad y autenticidad, como de su contenido.

Ing. Erasmo Garcia Ochoa, M.Sc.

C.I. 0917118697

Director del Proyecto

Dedicatoria

El presente trabajo se lo dedico, a Dios, a mi mamá; Nelly Montesdeoca y a mi papá; David Friend, porque ellos fueron, son y serán mis pilares fundamentales, que me han acompañado e impulsado a obtener mi título como profesional en esta área.

En este pequeño espacio quiero dedicar este trabajo a José Luis Enríquez y a Alejandra Galarraga, quien han formado parte de manera fundamental e irrefutable en mi preparación profesional desde que me conocen.

También, le dedico este trabajo a mis hermanas; Patricia, Fanny, Nella y Hillary, porque sin duda alguna fueron inspiración para alcanzar este objetivo profesional. Ellos, han forjado en mí el motor que me impulsa a alcanzar todos mis objetivos y seguir luchando por todo aquello que deseo para mí y mi porvenir.

Henry Friend

Agradecimiento

Agradezco, a mi tutor el Ing. Erasmo García, por acompañarme en la travesía de lograr cada uno de los objetivos planteados dentro de este proyecto. También agradezco a todos quienes conforman la Universidad Internacional del Ecuador, ya que ellos han sido parte de este proceso que comenzó con la matriculación y finaliza con este proyecto. Le agradezco a la Ing. Melissa Loor y a todos los profesores por ser parte fundamental de mi crecimiento y preparación profesional dentro del ámbito automotriz. Agradezco a familiares y amigos que de una u otra manera me acompañaron durante este camino académico y profesional.

¡¡¡Muchas Gracias!!!

Henry Friend

Índice General

Certificado.....	iii
Aprobación del Tutor	iv
Dedicatoria	v
Agradecimiento.....	vi
Índice General.....	vii
Índice de Figuras.....	xi
Índice de Tablas	xiv
Índice de Ecuaciones.....	xvi
Resumen.....	xvii
Abstract.....	xix
Capítulo 1.....	1
Antecedentes	1
1.1. Tema de Investigación.....	1
1.2. Planteamiento, Formulación y Sistematización del Problema	1
1.2.1. <i>Planteamiento del Problema</i>	1
1.2.2. <i>Formulación del Problema</i>	1
1.2.3. <i>Sistematización del Problema</i>	2
1.3. Objetivos de la Investigación	2
1.3.1. <i>Objetivo General</i>	2
1.3.2. <i>Objetivos Específicos</i>	2

1.4. Justificación y Delimitación de la Investigación.....	2
1.4.1. <i>Justificación</i>	2
1.4.2. <i>Delimitación de la Investigación</i>	3
1.4.3. <i>Delimitación Geográfica</i>	3
Capítulo II.....	4
Marco de Referencial.....	4
2.1. Marco Teórico	4
2.1.1. <i>Conceptos Preliminares</i>	5
2.1.2. <i>Tipos de Sistemas de Frenos</i>	5
2.1.3. <i>Electrónica en el Sistema de Frenos</i>	10
2.1.4. <i>Física del Frenado</i>	11
2.1.5. <i>Parámetros Determinantes en la Ejecución del Frenado</i>	13
2.1.6. <i>Parámetros que Alteran la Distancia de Frenado</i>	19
2.1.7. <i>Eficacia del Sistema de Frenos</i>	21
2.2. Marco Conceptual	22
2.2.1. <i>Principales Materiales de Fricción de las Pastillas de Freno</i>	22
2.2.2. <i>Composición de las Pastillas de Freno</i>	26
2.2.3. <i>Coeficiente de Fricción</i>	29
2.2.4. <i>Energía Cinética</i>	29
2.2.5. <i>Parámetros Dinámicos y el Frenado</i>	30
2.2.6. <i>Eficacia del Frenado</i>	34

2.2.7. Sistema de Frenos Antibloqueo	35
2.2.8. Sensor Arduino	35
2.2.9. Inteligencia Artificial	35
2.2.10. Teorema de Nyquist	36
2.2.11. Prueba de Eficacia	37
2.2.12. Especificaciones Generales.....	37
Capítulo III.....	39
Metodología	39
3.1. Diseño Metodológico	39
3.1.1. Método de Investigación	39
3.1.2 Tipo de Investigación	39
3.1.3. Especificaciones Generales.....	39
3.1.4. Especificaciones Normativa SAE J299	40
3.1.5. Especificaciones Normativa SAE J2909	41
3.1.6. Datos Técnicos del Vehículo Sujeto a Prueba.....	45
3.1.7. Datos Técnicos de las Pastillas de Frenos.....	47
3.1.6 Especificaciones de los Neumáticos.....	49
3.1.7. Pista de Autódromo	50
3.1.8. Condiciones Climáticas durante las Pruebas de Frenado.....	51
3.2. Equipos y Técnicas de Medición de Frenado.....	51
3.2.1. Equipos de Captación de Datos	51

3.2.2. <i>Técnicas de Medición de la Eficiencia de Frenado</i>	59
3.2.3. <i>Factores Determinantes</i>	59
3.3. <i>Diseño de Códigos de Programación de Arduino con Asistencia de la IA</i>	60
Capítulo IV	62
Análisis de los resultados	62
4.1.1. <i>Resultados Pastillas OEM, OE y IAM sin y con Carga</i>	62
4.1.2. <i>Resumen de los Datos Obtenidos</i>	93
4.1.3. <i>Promedios de los Datos Obtenidos</i>	95
4.1.4. <i>Gráficas de las mediciones recolectadas por el Acelerómetro</i>	95
Conclusiones	116
Recomendaciones	117
Bibliografía	118
Anexos	123

Índice de Figuras

Figura 1 <i>Motor de Automóvil Benz</i>	4
Figura 2 <i>Piezas del Mando del Freno de Estacionamiento</i>	6
Figura 3 <i>Principio de Pascal Base de los Sistemas Hidráulicos</i>	7
Figura 4 <i>Diagrama de Sistema de Frenos Hidráulico</i>	8
Figura 5 <i>Diagrama del Sistema de Frenos Neumáticos</i>	9
Figura 6 <i>Sistema de Frenos Eléctrico</i>	10
Figura 7 <i>Fuerza de Frenado</i>	12
Figura 8 <i>Fuerza Aplicada Sobre el Pedal de Freno</i>	14
Figura 9 <i>Fuerza de la Pastilla sobre el Disco de Frenos.</i>	15
Figura 10 <i>Torsión del Neumático Debido a su Alta Adherencia a la Calzada</i>	16
Figura 11 <i>Superficie de Contacto de la Pastilla</i>	16
Figura 12 <i>Calor Desprendido por la Fricción entre la Pastilla y Disco de Freno.</i>	17
Figura 13 <i>Distancia de Frenado y Distancia de Reacción del Conductor</i>	18
Figura 14 <i>Dos Vehículos a Distinta Velocidad</i>	19
Figura 15 <i>Vehículo con Capacidad de Carga Excedida</i>	20
Figura 16 <i>Neumático Deformado a Causa de una Mala Adherencia</i>	21
Figura 17 <i>Fuerza de Frenado de los Ejes</i>	22
Figura 18 <i>Los 6 Minerales del Grupo de Asbesto</i>	23
Figura 19 <i>Pastilla de Freno Orgánica</i>	24
Figura 20 <i>Pastillas de Freno Semimetálicas</i>	25
Figura 21 <i>Pastillas de Cerámica</i>	26
Figura 22 <i>Fibra de Vidrio y Fibra de Aramida</i>	27
Figura 23 <i>Polvo de Metal, Materiales Cerámicos y Resina</i>	27
Figura 24 <i>Materiales Aglutinantes (Goma y Resina Fenólica)</i>	28

Figura 25 <i>Grafito y Polvo de Petróleo</i>	28
Figura 26 <i>Materiales Modificadores de Fricción</i>	29
Figura 27 <i>Ejes de Rotación de un Vehículo</i>	31
Figura 28 <i>Vehículo Realizando Movimiento de Cabeceo</i>	32
Figura 29 <i>Movimiento de Balanceo en un Vehículo</i>	33
Figura 30 <i>Movimiento de Rebote y Movimiento de Guiñada en el Vehículo, Respectivamente</i>	34
Figura 31 <i>Aplicación de una IA en la Conducción Autónoma</i>	36
Figura 32 <i>Carga Aplicada a las Pruebas</i>	49
Figura 33 <i>Sensores Ubicados en Mordaza y Pastilla</i>	51
Figura 34 <i>Autódromo Teófilo Bucaram</i>	50
Figura 35 <i>Condiciones de la Pista</i>	50
Figura 36 <i>Termo par con Arduino</i>	53
Figura 37 <i>Trabajo de Mecanizado en la Pastilla de Frenos</i>	53
Figura 38 <i>Transductor de Presión con Arduino</i>	54
Figura 39 <i>Transductor de Presión y Acople</i>	55
Figura 40 <i>Vista en 3D del Vehículo</i>	55
Figura 41 <i>Acelerómetro de la Marca WIT-MOTION</i>	56
Figura 42 <i>Odometro Utilizado para Medir las Distancias</i>	57
Figura 43 <i>Termómetro Digital</i>	58
Figura 44 <i>Recepción de Datos de la Aplicación Excel</i>	58
Figura 45 <i>Solicitud a AI de Corrección y Traducción del Código</i>	60
Figura 46 <i>Petición de Adaptación de Código para Transmitir Datos a Excel</i>	61
Figura 47 <i>Gráfica de aceleración – Pastillas OEM sin Carga</i>	96
Figura 48 <i>Gráfica velocidad angular – Pastillas OEM sin Carga</i>	97

Figura 49 <i>Gráfica de Inclinación – Pastillas OEM sin Carga</i>	98
Figura 50 <i>Gráfica de Aceleración – Pastillas OEM con Carga</i>	99
Figura 51 <i>Gráfica de Velocidad Angular – Pastillas OEM con Carga</i>	100
Figura 52 <i>Gráfica de Inclinación – Pastillas OEM con Carga</i>	101
Figura 53 <i>Gráfica de Aceleración – Pastillas OE sin Carga</i>	102
Figura 54 <i>Gráfica de Velocidad Angular – Pastillas OE sin Carga</i>	103
Figura 55 <i>Gráfica de Desplazamiento angular – Pastillas OE sin Carga</i>	104
Figura 56 <i>Gráfica de Aceleración – Pastillas OE con Carga</i>	105
Figura 57 <i>Gráfica de Velocidad Angular – Pastillas OE con Carga</i>	106
Figura 58 <i>Gráfica de Desplazamiento Angular – Pastillas OE con Carga</i>	107
Figura 59 <i>Gráfica de Aceleración – Pastillas IAM</i>	108
Figura 60 <i>Gráfica de Velocidad Angular – Pastillas IAM sin Carga</i>	109
Figura 61 <i>Gráfica de Desplazamiento Angular – Pastillas IAM sin Carga</i>	110
Figura 62 <i>Gráfica de Aceleración – Pastillas IAM con Carga</i>	111
Figura 63 <i>Gráfica de la Velocidad Angular – Pastillas IAM con Carga</i>	112
Figura 64 <i>Gráfica de Desplazamiento Angular - Pastillas IAM con Carga</i>	113

Índice de Tablas

Tabla 1 <i>Parámetros del Vehículo - SAE</i>	42
Tabla 2 <i>Parámetros Opcionales del Vehículo - SAE</i>	42
Tabla 3 <i>Mínimos y Máximos de Tolerancia de Temperatura - SAE</i>	44
Tabla 4 <i>Datos del Modelo del Vehículo</i>	45
Tabla 5 <i>Dimensiones, Peso y Capacidades</i>	45
Tabla 6 <i>Sistema de Frenos</i>	46
Tabla 7 <i>Especificaciones del ABS</i>	47
Tabla 8 <i>WitMotion Hoja de Datos (Datasheet)</i>	56
Tabla 9 <i>Resultados de Prueba 1 sin Carga - OEM</i>	63
Tabla 10 <i>Resultados de Prueba 2 sin carga - OEM</i>	64
Tabla 11 <i>Resultados de Prueba 3 sin Carga - OEM</i>	65
Tabla 12 <i>Resultados de Prueba 4 sin Carga - OEM</i>	66
Tabla 13 <i>Resultados de Prueba 5 sin Carga - OEM</i>	67
Tabla 14 <i>Resultados de Prueba 1 con Carga - OEM</i>	68
Tabla 15 <i>Resultados de Prueba 2 con Carga - OEM</i>	69
Tabla 16 <i>Resultado de Prueba 3 con Carga - OEM</i>	70
Tabla 17 <i>Resultados de Prueba 4 con Carga - OEM</i>	71
Tabla 18 <i>Resultados de Prueba 5 con Carga - OEM</i>	72
Tabla 19 <i>Resultados Prueba 1 sin Carga - OE</i>	73
Tabla 20 <i>Resultados Prueba 2 sin Carga - OE</i>	74
Tabla 21 <i>Resultados Prueba 3 sin Carga - OE</i>	75
Tabla 22 <i>Resultados Prueba sin Carga - OE</i>	76
Tabla 23 <i>Resultados de Prueba 5 sin Carga - OE</i>	77
Tabla 24 <i>Resultados de Prueba 1 con Carga - OE</i>	78

Tabla 25_ <i>Resultados de Prueba 2 con Carga - OE</i>	79
Tabla 26_ <i>Resultados de Prueba 3 con Carga - OE</i>	80
Tabla 27_ <i>Resultados Prueba 4 con Carga - OE</i>	81
Tabla 28_ <i>Resultados Prueba 5 con Carga - OE</i>	82
Tabla 29_ <i>Resultados Prueba 1 sin Carga - IAM</i>	83
Tabla 30_ <i>Resultados Prueba 2 sin Carga - IAM</i>	84
Tabla 31_ <i>Resultados Prueba 3 sin Carga - IAM</i>	85
Tabla 32_ <i>Resultados Prueba 4 sin Carga - IAM</i>	86
Tabla 33_ <i>Resultados de Prueba 5 sin Carga - IAM</i>	87
Tabla 34_ <i>Resultados Prueba 1 con Carga - IAM</i>	88
Tabla 35_ <i>Resultados Prueba 2 con Carga - IAM</i>	89
Tabla 36_ <i>Resultados Prueba 3 con Carga - IAM</i>	90
Tabla 37_ <i>Resultados Prueba 4 con Carga - IAM</i>	91
Tabla 38_ <i>Resultados Pruebas 5 con Carga - IAM</i>	92
Tabla 39_ <i>Resumen de Datos de las Pruebas con Pastillas OEM sin y con Carga</i>	93
Tabla 40_ <i>Resumen de Datos de las Pruebas con Pastillas OE sin y con Carga</i>	93
Tabla 41_ <i>Resumen de Datos de las Pruebas con Pastillas IAM sin y con carga</i>	94
Tabla 42_ <i>Resumen en Promedios de los Resultados Obtenidos</i>	95
Tabla 43_ <i>Comparativa de los resultados de las pastillas versus el precio de venta</i> ..	114

Índice de Ecuaciones

Ecuación 1 <i>Pascal</i>	6
Ecuación 2 <i>Desaceleración</i>	¡Error! Marcador no definido.
Ecuación 3 <i>Ejecución de Frenado</i>	¡Error! Marcador no definido.
Ecuación 4 <i>Tiempo de Duración del Frenado</i>	¡Error! Marcador no definido.
Ecuación 5 <i>Tiempo de Reacción del Conductor</i>	¡Error! Marcador no definido.
Ecuación 6 <i>Eficacia del Sistema de Frenos</i>	¡Error! Marcador no definido.
Ecuación 7 <i>Energía Cinética</i>	¡Error! Marcador no definido.

Resumen

El mercado de pastillas de freno se encuentra clasificado en 3 categorías, Equipo de Manufactura Original (OEM), Equipo original (OE) y Mercado de autopartes independiente (IAM); por el desconocimiento sobre la influencia en calidad de las pastillas y el rendimiento que ejerce en el sistema de frenos; y en adición la falta de información sobre marcas y establecimientos autorizados dentro del mercado nacional; los compradores eligen cualquier tipo de pastillas de frenos, desconociendo si estas cuentan con las regulaciones o normalización adecuadas. El presente trabajo de investigación se realizó con el fin de brindar al lector la información necesaria para que conocer la importancia de utilizar pastillas de freno de alta calidad o certificadas; así mismo, identificar el impacto que las pastillas de freno tienen sobre la distancia de frenado del vehículo en situaciones de emergencia para así conocer la importancia de las prestaciones de las mismas, que se basan en convertir la energía cinética en energía térmica por medio de la fricción generada mientras se aplica el freno para detener el vehículo, por esta razón es indispensable elegir y comprar aquellas pastillas que permitan obtener el mejor desempeño posible. En el desarrollo de la investigación se realizaron pruebas de frenado en un ambiente real controlado usando un vehículo Hyundai Santa Fe, en una pista lineal en la provincia de Santa Elena. Las pruebas fueron realizadas de acuerdo a las normas de la Sociedad de Ingenieros Automotrices (SAE) J2909 y J299. Adicionalmente, con el uso de dispositivos de recolección de datos tales como acelerómetro, medidor de presión y medidor de temperatura, entre otros, se ha podido realizar las interpretaciones necesarias de los resultados de las pruebas. Con el análisis comparativo de las pastillas OEM, OE e IAM; sus parámetros dinámicos y la información resultante de los dispositivos de recolección de datos; se comprueba la relación entre el precio, calidad y seguridad ofreciendo los criterios necesarios para elegir las pastillas de freno.

Palabras Clave: sistema de frenos, distancia de frenado, material de fricción, temperatura de frenado, pruebas de frenado, Arduino, sensor de alta presión.

Abstract

The brake pad market is classified into 3 categories, Original Equipment Manufacturing (OEM), Original Equipment (OE) and Independent Auto Parts Market (IAM); due to the lack of knowledge about the importance of the pads quality and the performance that it has on the brake system; and in additionally the lack of information on brands and authorized establishments within the national market; Buyers choose any type of brake pads, not knowing if they have adequate regulations or standardization. This research work was carried out in order to provide the reader with enough information to know the importance of using high quality or certified brake pads; Likewise, identify the impact that the brake pads have on the braking distance of the vehicle in emergency situations to have an idea and know the importance of its development, which are based on converting kinetic energy into thermal energy through the friction generated while the brake is applied to stop the vehicle, for this reason it is essential to choose and buy those pads that allow obtain the best possible performance. For the development of the research, braking tests were carried out in a real controlled environment using a Hyundai Santa Fe vehicle, on a linear track in the province of Santa Elena. The tests were performed in accordance with the standards of the Society of Automotive Engineers (SAE) J2909 and J299. Additionally, with the use of data collection devices such as an accelerometer, pressure meter and temperature meter, among others, it has been possible to make the necessary interpretations of the test results. With the comparative analysis of OEM, OE and IAM pads; its dynamic parameters and the information resulting from the data collection devices; The relationship between price, quality and safety is verified, offering the necessary criteria to choose brake pads.

Keywords: Brake system, brake pad wear, friction material, braking temperature, braking tests, Arduino, high pressure sensor.

Capítulo 1

Antecedentes

1.1. Tema de Investigación

Análisis comparativo de las pastillas de freno de un Hyundai Santa Fe mediante pruebas de frenado rigiéndose a las normas SAE J299 y J2909.

1.2. Planteamiento, Formulación y Sistematización del Problema

1.2.1. Planteamiento del Problema

En el mercado de autopartes de vehículos livianos y pesados, los repuestos automotrices alternos del sistema de frenado representan una opción de compras alternativa en las casas comerciales de los fabricantes vehiculares, por esta razón se vuelve oportuno comparar y evaluar los distintos tipos de calidades de las pastillas de frenos Original Equipment Manufacturer (OEM), Original Equipment (OE), Independent Aftermarket (IAM) y cómo estas responden a situaciones en donde el vehículo debe aplicar el freno de emergencia, y poder adicional visualizar la diferencia cuando este vehículo cuenta con peso adicional. Se tomó como referencia las normas SAE J299 y SAE J2909 para la realización de este trabajo de investigación; las cuales permiten establecer parámetros dinámicos para la comprobación de los elementos que componen los sistemas de un vehículo.

Es por ello necesario establecer los datos de las pruebas que se realizaron para el conocimiento de los consumidores, ya que de esta manera se pueda demostrar la relación entre precio y seguridad que ofrecen las distintas categorías de pastillas de freno que se comercializan en el mercado de repuestos ecuatoriano.

1.2.2. Formulación del Problema

¿Cuál es la eficiencia de una pastilla de frenos OEM, OE e IAM en condiciones de asfalto seco y como afecta el aumento del peso bruto del vehículo?

1.2.3. Sistematización del Problema

Es importante conocer cada una de las partes que se plantearon para el desarrollo del presente trabajo en base al sistema de frenos y su relación con los materiales de las pastillas de freno.

¿Qué componentes inciden directamente en la eficiencia de las pastillas de freno?

¿Cuál es la calidad de las pastillas de frenos OEM, OE e IAM?

¿Cómo afectan la composición de las pastillas de freno en la eficiencia del frenado cuando el vehículo es sometido a pruebas de frenado agresivas?

1.3. Objetivos de la Investigación

1.3.1. Objetivo General

Analizar el comportamiento de las pastillas de freno de un Hyundai Santa Fe mediante pruebas de frenado rigiéndose a las Normas SAE j299 y J2909.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Implementar instrumentos de medición para la obtención de los parámetros dinámicos de frenado.
- Comparar las calidades de las pastillas de freno OEM, OE e IAM.
- Determinar la eficiencia de frenado de las pastillas según la variación de carga.
- Presentar los datos obtenidos según el criterio de selección de las pastillas.

1.4. Justificación y Delimitación de la Investigación

En este apartado se expone la justificación: Teórica, práctica y metodológica del tema objeto de estudio, además se limitará el problema de investigación.

1.4.1. Justificación

El presente trabajo busca comprobar la eficiencia del frenado del vehículo cuando este utiliza pastillas de frenado originales o alternas teniendo en consideración la variación de la carga del vehículo.

Esta investigación podrá ser usada como base para analizar otros elementos incidentes en el rendimiento del sistema de frenos, de manera que se puedan buscar mejoras en los elementos y aumentar las prestaciones del sistema de frenos en un vehículo; incluso esto puede desarrollar normativas estatales que regulen la calidad de repuestos que ingresan al mercado Ecuatoriano, con el fin de minimizar la cantidad de accidentes con relación a alguna falla del sistema de frenos.

1.4.2. Delimitación de la Investigación

El presente trabajo de investigación relacionado al análisis comparativo de las pastillas de freno de un Hyundai santa fe mediante pruebas de frenado rigiéndose a las Normas SAE J299 y J2909 se realizó mediante la investigación experimental para lo cual se utilizó un vehículo modelo Santa Fe, del año 2009 de la marca Hyundai, al cual es sometido a las pruebas en un autódromo con el objeto de determinar la capacidad de repuesta de las distintas categorías de pastillas de freno ante la variación de la carga del vehículo.

1.4.3. Delimitación Geográfica

El proceso de experimentación se llevará a cabo en las instalaciones del autódromo ubicado en el cantón de Santa Elena, provincia de Santa de Elena.

Capítulo II

Marco de Referencial

2.1. Marco Teórico

Desde la creación de los vehículos a finales del siglo XIX se dio inicio a la era de la movilidad; con ello, la comunicación y la transportación se vieron afectados positivamente. Adicional que el automóvil permitió la movilización de las personas de forma rápida entre dos puntos lejanos. Con el pasar de los años las grandes distancias se volvieron cortas, debido a que conforme se iban desarrollando nuevas tecnologías los vehículos alcanzaban mayores velocidades, de manera que se minimizaba el tiempo de recorrido (Lucendo, 2019).

Figura 1

Motor de Automóvil Benz



Tomado de: <https://www.lavanguardia.com/historiayvida/historia-contemporanea/20191125/471783996973/karl-benz-automovil.html#foto-2>

Es aquí en donde el sistema de frenos tiene un papel crucial en el desarrollo automotriz, teniendo en cuenta que cada vez los vehículos eran más rápidos se volvió imprescindible desarrollar un sistema que permitiese desacelerar o parar por completo el vehículo. El sistema de frenos fue implementado para realizar esa función; con la segunda generación del Motorwagen se incluyó un sistema de frenos para un vehículo que apenas alcanzaba los 16

km/h conformado por un freno de tambor de cuero de zapatero que iba incorporado en las ruedas traseras (Arroyo San Juan, 1996).

2.1.1. Conceptos Preliminares

Desde el comienzo los sistemas de freno de un vehículo eran bastante simples, sin embargo, con los desarrollos tecnológicos y descubrimiento de nuevos materiales estos sistemas fueron evolucionando por su forma de aplicación y el método de accionamiento. Es por eso que podemos encontrar sistemas de frenos mecánicos, hidráulicos y neumáticos. (Borja y otros, 2008)

2.1.2. Tipos de Sistemas de Frenos

Los tipos de sistemas de freno van a depender principalmente del método de accionamiento de este. En relación a esto se puede encontrar 4 tipos de accionamientos, el mecánico, hidráulico, neumático y eléctrico.

También se puede clasificar los sistemas de freno por los tipos de componentes que incluyen en el sistema, entre estos tenemos tambor en las 4 ruedas, disco en las ruedas delanteras y tambor en las ruedas posteriores, y disco en las 4 ruedas. Dependiendo de la configuración va a traer distintos tipos de elementos friccionante, puede ser pastilla o zapata.

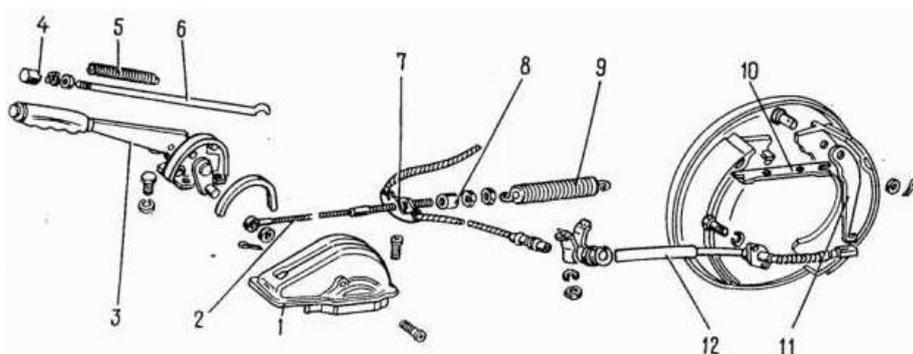
- Sistema de Frenos Mecánico

Este sistema fue el que se utilizó en el inicio de los vehículos, constaba de un sistema accionado por cables; los cuales tiraban de las zapatas haciéndolas rozar contra los tambores, producto de esta fuerza de fricción se pueda detener el vehículo. Este sistema presentaba grandes problemas; el conductor del vehículo debía generar una gran fuerza sobre el pedal para detener el vehículo, y debido al uso continuo, los cables llegaban a estirarse demasiado, esto volvía necesario una calibración constante del sistema de frenos.

Las partes que conforman este sistema son el tambor, las zapatas y el juego de reglaje. La forma como se accionaba es la siguiente; a un pedal se le sujetaba un cable de acero, el cual estaba enlazado mediante un mecanismo de varillaje hacia las zapatas. Al momento de presionar el pedal, este tiraba del cable y esa fuerza se transmitía hacia las zapatas, de manera que esta ejercía presión contra el tambor de freno, dando como resultado el frenado del vehículo. Actualmente este sistema está presente en los vehículos para accionar el freno de estacionamiento. Las piezas y partes (figura 2) que conforman el mando del freno de estacionamiento son las siguientes: 1 funda, 2 cable delantero, 3 palanca, 4 botón, 5 muelle de la varilla. 6 varilla del perillo, 7 guía del cable trasero, 8 casquillo separador, 9 muelle recuperador, 10 placa separadora, 11 palanca del mando manual de las zapatas, 12 cable trasero.

Figura 2

Piezas del Mando del Freno de Estacionamiento



Tomado de: <https://clubniva.com/foro/suspension-frenos-y-direccion/3711-freno-de-mano.html>

- Sistema de Frenos Hidráulicos

Este sistema permitió mitigar los problemas del sistema antecesor (sistema mecánico), debido a que se basa en el principio de Pascal y replicado por (Giancoli, 2006); el cual menciona que “Si se aplica una presión externa a un fluido confinado, la presión en todo el punto dentro del fluido aumenta por dicha cantidad y se refleja en todas las direcciones del recipiente”. Este principio se refleja en la ecuación 1.

$$P_1 = P_2 \quad (1)$$

Donde $P = \frac{F}{A}$, Entonces:

$$\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2}$$

Donde

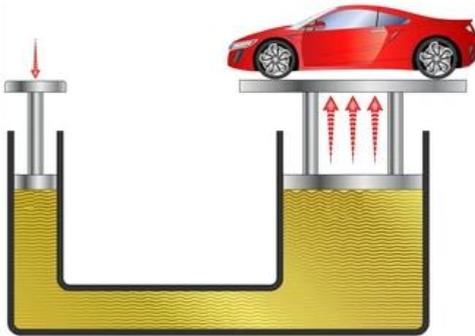
F_1 y F_2 : Fuerzas que se aplican

A_1 y A_2 : Las áreas donde se aplican dichas fuerzas

El principio de Pascal se ha utilizado como base para la creación de cualquier sistema hidráulico, tales como: el elevador hidráulico, el ascensor, sistemas de dirección, entre otros. Tal cual se puede apreciar en la Figura 3.

Figura 3

Principio de Pascal Base de los Sistemas Hidráulicos



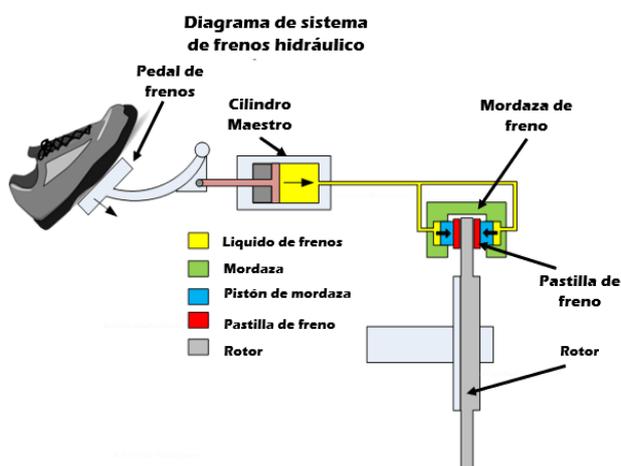
Tomado de: <https://luzmpena.wordpress.com/mecanica-de-fluidos/principio-de-pascal/>

Este tipo de sistemas, por su característica, tuvo que ser rediseñado, en el cual se implementó el cilindro maestro, el reforzador de freno, el disco o rotor, la pinza o caliper de freno, las pastillas de material friccionante. Este nuevo sistema posee la ventaja de mejorar eficazmente la distribución del frenado y menor esfuerzo por parte del conductor.

El sistema se acciona a través del pedal de freno que está unido un cilindro hidráulico; el cual almacena el fluido de frenos, al ejercer presión con el pedal, el cilindro envía esa presión al líquido de freno; el cual por el principio de Pascal refleja y multiplica esa fuerza hacia los calipers de freno, este a su vez enfoca esa fuerza multiplicada hacia las pastillas de freno, y estas generan fricción sobre el rotor, lo que da como resultado la desaceleración del vehículo. Esto se puede ver reflejado en la Figura 4.

Figura 4

Diagrama de Sistema de Frenos Hidráulico



Tomado de: <https://www.buildyourownracecar.com/race-car-suspension-basics-and-design/>

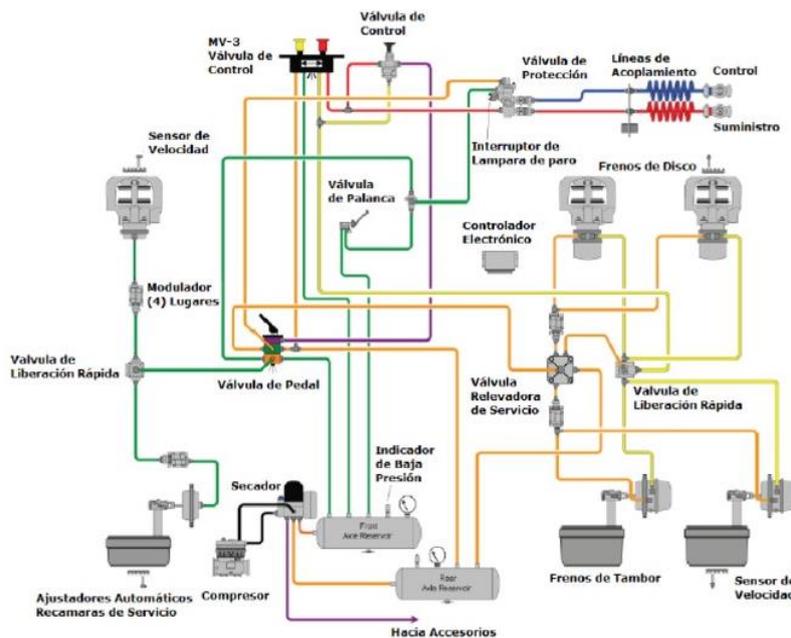
- Sistema de Freno Neumático

Este sistema es una variante mejorada del sistema hidráulico. El sistema de frenos neumático hace uso de tambores y zapatas; las cuales son accionadas por unas válvulas neumáticas en conjunto a todo un complejo sistema neumático; el cual consta de: un compresor de aire, filtro de aire, secador de aire, depósitos de aire comprimido, regulador de presión, depósito de regeneración, válvulas de freno de mano, válvula de descarga de freno de mano, cámaras de aire y válvulas de freno de servicio. Estos sistemas fueron diseñados mayormente para vehículos pesados, puesto que por sus dimensiones un sistema mecánico o hidráulico no

sería suficiente para poder detener a los vehículos de carga, camiones de trabajo y buses de pasajero; esto se debe a que por la masa del vehículo el esfuerzo mecánico producido durante el frenado es alto y dejaría fuera de servicio al sistema mecánico o hidráulico. (Borja y otros, 2008).

Figura 5

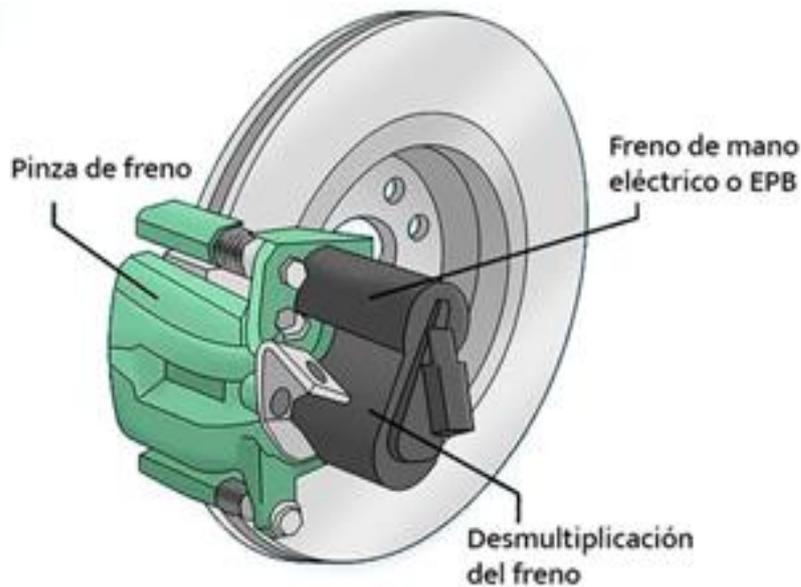
Diagrama del Sistema de Frenos Neumáticos



Tomado de: https://delikesar.life/product_details/93602251.html

- Sistema de Frenos Eléctrico

El sistema de freno eléctrico es un tipo de sistema que combina una parte mecánica con otra eléctrica; en este caso un ejemplo muy claro es el de un motor eléctrico que acciona un mecanismo, en efecto, este sistema está conformado por un motor eléctrico y un mecanismo de tornillo sin fin que empuja un cilindro de manera que este ejerza presión sobre la pastilla de freno, este sistema está instalado para funcionar y accionar el freno de estacionamiento o parking brake. Este sistema es de los más actuales, y bien puede ser un sistema incorporado en el servo freno (hidrovac) y que actúa sobre el cilindro principal; de este modo el cilindro principal envía fluido a los caliper de freno, como también un motor eléctrico que actúa sobre la pinza o caliper para activar el freno de mano (Borja y otros, 2008).

Figura 6*Sistema de Frenos Eléctrico*

Tomado de: <https://blog.frenkit.es/es/ventajas-freno-de-mano-electrico>

2.1.3. Electrónica en el Sistema de Frenos

El desarrollo en el ámbito de los sistemas electrónicos permitió el desarrollo de sensores que se pudieron integrar a varios sistemas, uno de estos es el sistema de frenos. Gracias a los avances tecnológicos se pudieron desarrollar sistemas que asistan al conductor durante alguna eventualidad.

- Asistentes Electrónicos en el Sistema de Frenos

Con los avances tecnológicos, los sistemas de freno antes descritos se han podido combinar con la electrónica, permitiendo así poder desarrollar varios sistemas controlados por una unidad de control electrónico que a cada instante está gestionando la situación del vehículo.

Debido a las innovaciones de Bosch en la industria automotriz, en referencia a los sistemas de freno, desarrolló los sistemas como el Sistema Antibloqueo de Frenos por sus siglas en inglés (ABS), el sistema de Distribución Electrónica de Frenado por sus siglas en inglés (EBD), el Asistente de Frenado de Emergencia por sus siglas en inglés (EBA) o el sistema de Vectorización de par por frenado por sus siglas en inglés (TVbB), etc, (Bosch, 2005).

Todos estos sistemas antes mencionados permiten mejorar las prestaciones del sistema de frenos del vehículo, teniendo así una conducción más segura en caminos y vías en donde el riesgo de accidentabilidad es elevado o en situaciones donde amerita frenar de emergencia. El equipamiento de estos sistemas electrónicos dependerá del segmento y gama del vehículo, como también las regulaciones establecidas dentro de un país.

Para el diseño de los sistemas electrónicos se toman en cuenta parámetros medibles como la velocidad de giro de la llanta, presión de accionamiento del pedal de freno, presión del circuito hidráulico, entre otros. Esto le permite al vehículo poder gestionar algún protocolo de emergencia si se llegase a presentar alguna eventualidad que cause la activación de los mismos.

2.1.4. Física del Frenado

La acción de frenar va mucho más allá que solo pisar un pedal. Detrás de los sistemas de frenos hay un arduo diseño matemático que involucra el cálculo de cada uno de los factores que intervienen al momento de frenar de manera que las ruedas se detengan de forma pareja y que las fuerzas experimentadas no terminen volcando el vehículo (Domínguez Soriano & Ferrer Ruiz, 2018).

- Reparto de la Fuerza de Frenado en los Ejes

El sistema de frenos está diseñado para todas las ruedas del vehículo, es decir, que cada rueda posee un conjunto de elementos que son parte del sistema de frenos; pese a ello la repartición de la fuerza de frenado se distribuye por eje delantero y eje trasero, ambos se identifican por pares de ruedas.

El reparto de la fuerza de frenado estará dispuesto para que la parte que abarque el mayor peso del vehículo; usualmente donde se encuentra el motor, genere entre el 60% o 70% del poder de frenado, y el eje trasero entre el 30% o 40% del poder de frenado (Borja y otros, 2008).

Figura 7

Fuerza de Frenado



Tomado de: <https://www.motor.com.co/industria/Carros-con-airbags-y-ABS-a-partir-de-mayo-20170120-0006.html>

- Desaceleración en la Acción del Frenado

Teniendo en cuenta que la fuerza ejercida por el conductor sobre el pedal es variable, la fuerza de frenado y la desaceleración será directamente proporcional a la fuerza ejercida por parte del conductor (Borja y otros, 2008). Por tanto, del análisis matemático nos resulta la ecuación número 2.

$$a = \frac{F}{m/g} \quad (2)$$

Donde:

a: Desaceleración en m/s^2

F: Fuerza de frenada en newtons (N)

m: Masa total del vehículo en kilogramos

g: Coeficiente de aceleración ($9.8 m/s^2$)

- Distancia Recorrida Durante la Ejecución del Frenado

La distancia de frenado de un sistema en ejecución permite evaluar cuan eficiente y eficaz es el sistema de freno, esto es debido a que si el vehículo no se detiene dentro de una distancia delimitada; es decir el vehículo se desliza más de lo esperado, el sistema de frenos

diseñado para este vehículo es obsoleto. Sin embargo, se debe tener en cuenta que hay factores externos como el climático y mecánicos, que pueden hacer que tenga una variación la distancia de frenado. Por lo tanto, la ecuación 3 nos permite realizar el análisis necesario.

$$e = \frac{v^2}{2a} \quad (3)$$

Donde:

e: Distancia de frenado en metros

v: Es igual a la velocidad expresada en m/s

a: deceleración en m/s^2

- Tiempo de Duración del Frenado

El tiempo que el carro tarda en detenerse por completo es crucial, debido a que al ir a velocidades superiores a los 50 km/h este debe detenerse en cuestión de segundos o incluso en milisegundos, por lo que resulta importante conocer el tiempo que toma al sistema detener el vehículo, hasta el pare total del vehículo (Borja y otros, 2008).

Dado que se toma muy en cuenta el tiempo, este se calcula mediante la ecuación matemática 4.

$$t = \frac{v}{A} \quad (4)$$

Por lo tanto:

t: tiempo de frenado en segundos

v: Velocidad expresada en m/s

a: Deceleración en m/s^2

2.1.5. *Parámetros Determinantes en la Ejecución del Frenado*

Durante la ejecución del sistema de frenos, hay factores que se deben tomar en cuenta, los cuales pueden influir en el rendimiento del sistema de frenos. (Borja y otros, 2008); en su libro de Sistemas de Transmisión y Frenado detallan los siguientes:

- Fuerza de Ejecución

Esta fuerza hace referencia a la que el conductor ejerce sobre el pedal de freno, dependiendo de la fuerza aplicada el vehículo frenará con mayor o menor intensidad.

Figura 8

Fuerza Aplicada Sobre el Pedal de Freno



Tomado de: <https://revista.dgt.es/es/educacion-formacion/conducir-mejor/2023/0315-Frenadas.html>

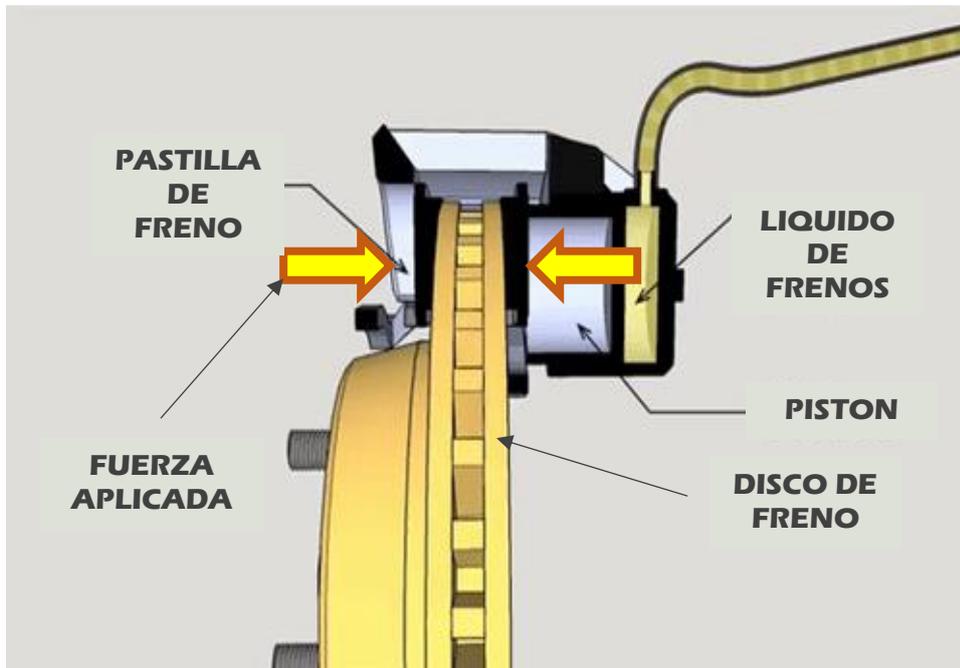
- Fuerza de Frenado

La fuerza de frenado es una fuerza que se aplica a las llantas del vehículo para hacer que este se frene o ralentice. Resulta ser un fenómeno necesario para la seguridad y el correcto manejo del vehículo, esta fuerza es dependiente de varios factores físicos como el coeficiente de fricción, la gravedad, la masa total del vehículo, entre otros; y factores mecánicos como el tipo de sistema de frenos, la fuerza hidráulica del sistema de frenos y los sistemas electrónicos del sistema.

Existen factores como los ambientales como la temperatura ambiente y la humedad que afectan de manera directa la fuerza de frenado del vehículo durante el manejo.

Figura 9

Fuerza de la Pastilla sobre el Disco de Frenos



Tomado de: <https://espirituracer.com/reportajes/el-sistema-de-frenos-en-el-automovil-ii/>

- Fuerza de Adherencia

La fuerza de adherencia tiene que ver con el contacto del neumático con la calzada, si el neumático tiene un mayor contacto con el suelo, la adherencia será mayor y si el contacto es menor la fuerza de adherencia es menor. Esta fuerza se puede ver influenciada por el estado de los neumáticos o por el estado del sistema de suspensión. En la figura 10 se puede apreciar como el neumático sufre deformación debido a su alta adherencia que se contrapone al par de torsión del sistema de propulsión.

Es necesario tener en cuenta que la fuerza de adherencia se relaciona con el coeficiente de fricción del neumático y de la misma manera la durabilidad de los neumáticos está relacionada con su grado de adherencia, cada fabricante de neumáticos diseña de manera técnica las características de los neumáticos, teniendo en cuenta lo anterior, un neumático de carreras no es lo mismo que un neumático de uso común en vías públicas.

Figura 10

Torsión del Neumático Debido a su Alta Adherencia a la Calzada



Tomado de: <https://www.caranddriver.com/es/motorsport/a31210106/nascar-llanta-tornillos/>

- Superficie de Contacto

La superficie de contacto entre el disco y pastilla o zapata y tambor determinan la cantidad de fricción que se producirá durante el accionamiento del freno. Mientras mayor sea la superficie de contacto mayor será la eficiencia del sistema de frenos, pero esto va ligado a las dimensiones con las que fue construido el sistema de frenos.

Figura 11

Área de Contacto de la Pastilla con el Rotor de Freno



Tomado de: <https://www.euromaster-neumaticos.es/blog/cambiar-pastillas-de-freno-traseras>

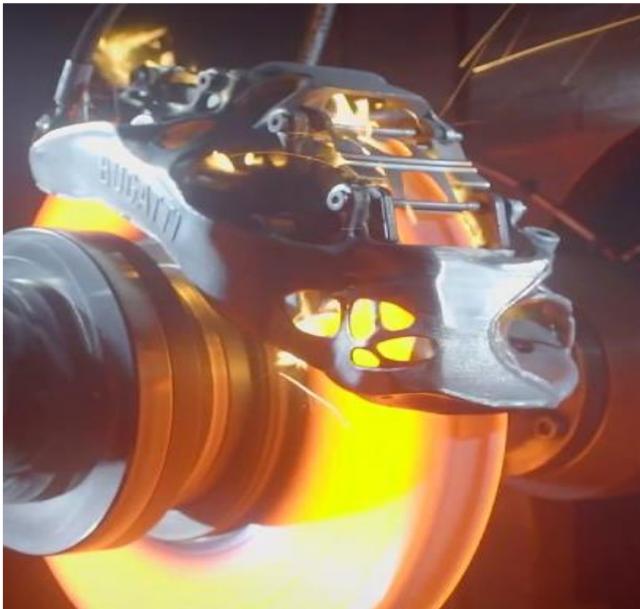
- Coefficiente de Fricción

El coeficiente de fricción es la capacidad que tienen los elementos o materiales para oponerse al movimiento, todos los materiales que existen presentan un coeficiente de fricción unos más altos en consideración a otros. El valor de fricción de un material dependerá de su composición molecular, como también de su naturaleza.

Los materiales con superficies rugosas o ásperas presentan un valor más alto de fricción, en el sistema de frenos el coeficiente está presente en el material las pastillas, zapatas, discos y los tambores de freno. El coeficiente de fricción se puede ver muy influenciado por las condiciones a las que está expuesto el material; la humedad y la temperatura puede modificar de manera considerable el coeficiente de fricción. Esto mismo se replica en la situación de los materiales que se utilizan para la elaboración de las pastillas (Ou y otros, 2024)

Figura 12

Calor Desprendido por la Fricción entre la Pastilla y Disco de Freno



Tomado de: <https://www.autobild.es/noticias/asi-ponen-prueba-frenos-3d-bugatti-chiron-349759>

- Tiempo de Reacción del Conductor

El tiempo de reacción es un valor medido en milisegundos, que hace referencia al tiempo que tarda una persona en percibir el peligro y presionar el pedal de frenos; este tiempo es de entre 0,8 a 1,0 s, este tiempo es calculable según la ecuación 5, en la que se expresan los parámetros que se tienen en cuenta para calcular el tiempo de reacción hasta la percepción del peligro (Bosch, 2005).

$$t_{vz} = t_R + t_U + t_A + t_s/2 \quad (5)$$

Entonces

t_R : Tiempo de reacción (Aprox. 0,2. Si se debe tomar decisiones incrementa a 0,3 s)

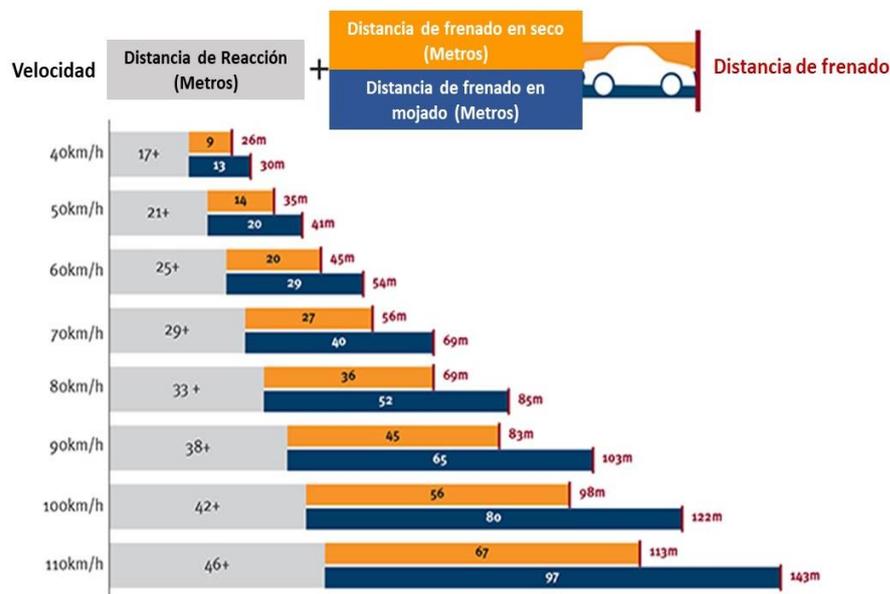
t_U : Tiempo de cambio de pedal (Aprox. 0,2 s)

t_A : Tiempo de respuesta del sistema de frenos

$t_s/2$: Tiempo umbral (se toma en cuenta la distancia total que recorre el carro hasta detenerse)

Figura 13

Distancia de Frenado y Distancia de Reacción del Conductor



Tomado de: <https://www.qld.gov.au/transport/safety/road-safety/driving-safely/stopping-distances>

2.1.6. *Parámetros que Alteran la Distancia de Frenado*

De acuerdo con Borja y otros; el sistema de frenos de un vehículo esta diseñado de tal forma que pueda detenerlo en determinado tiempo y a determinada distancia, sin embargo, esto se puede ver influenciado por factores tales como:

- Velocidad de Recorrido

El sistema de frenos está diseñado para poder ser eficiente a cualquier velocidad de recorrido, sin embargo, mientras más alta sea la velocidad del vehículo, mayor distancia necesitará para frenar por completo. Por ejemplo, un vehículo que viaja a 60 km/h para poder detenerse por completo necesito 18 metros, otro que viaje a 120 km/h no se detendrá al doble de distancia, si no a una distancia mucho mayor.

Figura 14

Dos Vehículos a Distinta Velocidad



Tomado de: https://www.lasexta.com/motor/noticias/que-sucede-cuando-en-la-captura-del-radar-aparecen-dos-vehiculos_202011305fc4d55fdde29400019afae6.html

La distancia de frenado no solamente se ve afectada por la velocidad de recorrido, sino que también existen factores que influyen sobre esta, como los ambientales; si un vehículo viaja a 60 km/h en una vía mojada por la lluvia, la distancia de frenado necesaria será de al menos de 50 metros, por lo contrario, un vehículo que viaja a 120 km/h necesitará de al menos 250 metros.

- El Peso del Vehículo

Los vehículos están diseñados para poder soportar su propio peso más el peso adicional del número de ocupantes y la carga que puede almacenar el vehículo. Sin embargo, cuando este peso es excedido el sistema de frenos necesitara de un mayor tiempo y distancia para poder detener el vehículo. debido a esto es necesario tener en cuenta no superar el peso permitido para el vehículo, o, por lo contrario, tener una conducción más segura si el peso del vehículo se está extralimitando.

Figura 15

Vehículo con Capacidad de Carga Excedida



Tomado de: <https://recurrirtusmultas.com/multas-y-sanciones-por-viajar-con-exceso-de-pasajeros-en-un-vehiculo/>

- Estado de la Suspensión del Vehículo

El sistema de suspensión es el encargado de mantener al vehículo en contacto con la calzada, y de esta forma asegurar una correcta adherencia de los neumáticos. Cuando alguno de los componentes de la suspensión falla, esto puede incurrir en un aumento de hasta el 20% de la distancia de frenado, debido a la pérdida de adherencia de los neumáticos.

Figura 16

Neumático Deformado a Causa de una Mala Adherencia



poTomado de: <https://www.bosch-arroyoauto.com/2013/07/02/por-qu%C3%A9-se-deforman-los-neum%C3%A1ticos-del-coche/>

2.1.7. Eficacia del Sistema de Frenos

La eficacia de freno hace referencia a la relación que existe entre el punto de mayor fuerza ejercida por el sistema de frenos con respecto a la masa del vehículo. El valor de la eficacia estará dado en valores porcentuales, el mismo indica el estado y funcionamiento de forma global del sistema de frenos tal como lo menciona Borja y otros.

La eficacia del sistema de frenos se puede evaluar por medio de la ecuación 6.

$$E = \frac{F}{M.M.A * g} * 100 \quad (6)$$

Donde:

E: es el valor de la eficacia en %

F: la suma de todas las fuerzas de frenado en Newton

M.M.A: es la masa máxima autorizada del vehículo en kg

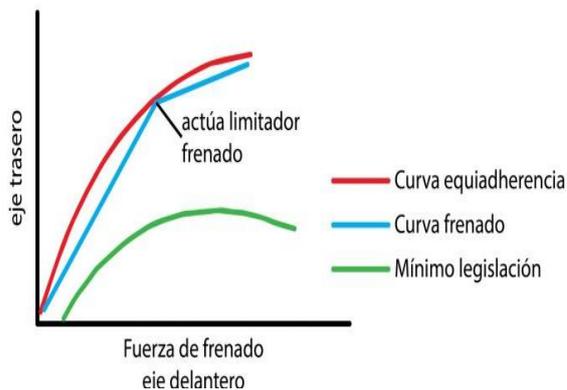
g: la aceleración de la gravedad (9.8 m/s^2)

En la figura número 17 se puede apreciar una gráfica en donde se exponen las curvas características entre la fuerza de frenado del eje delantero con respecto al eje trasero, en la cual la curva de equiaderencia expone el punto donde el aprovechamiento de la adherencia de

ambos ejes es más alto. Esta gráfica permite entender que la adherencia y la fuerza de frenado es directamente proporcional, sin embargo, es importante tener en cuenta que existen diversos factores que afectan la adherencia, entre las que tenemos: los factores ambientales, las condiciones de la calzada y el estado de los neumáticos.

Figura 17

Fuerza de Frenado de los Ejes



Tomado de: <https://www.diariomotor.com/que-es/sistema-frenos-elementos/>

2.2. Marco Conceptual

2.2.1. Principales Materiales de Fricción de las Pastillas de Freno

Los materiales con los que se elaboran las pastillas de frenos han mejorado constantemente para aumentar su calidad, ayudando también a su vez a reducir el consumo de materiales no renovables. En el presente estudio se analizaron los distintos materiales usados en su elaboración, tales como la cerámica, metales, carbón y biomateriales; los cuales les darán a las pastillas las propiedades idóneas que necesitan para el frenado.

El asbesto (amianto) es un mineral muy utilizado en la fabricación de pastillas de freno; debido a su alta resistencia al calor, como también sus propiedades ignífugas y mecánicas; sin embargo, con el pasar del tiempo y descubrimiento de nuevos materiales se ha quedado obsoleto o incluso es prohibido su uso en muchos países debido a sus efectos nocivos en la salud de los seres vivos, siendo uno de los mayores causantes de cáncer en el mundo. Según estudios médicos, el asbesto está relacionado a altos índices de cáncer como el mesotelioma y

el cáncer de pulmón en los humanos, debido a la prolongada exposición con este material. (Strand, 2024).

Figura 18

Los 6 Minerales del Grupo de Asbesto



Tomado de: <https://www.mesothelioma.com/asbestos-exposure/what-is-asbestos/>

Los materiales que son usados para fabricar las pastillas de frenos son materiales de alta resistencia y muy duraderos, que garantizan el rendimiento adecuado de eficiencia y seguridad que se requiere al frenar. La demanda de las distintas pastillas de frenos no solo va a depender en los materiales, sino también en la calidad que estas pueden ofertar a los compradores.

Así como la teoría de la demanda que expresa que el posicionamiento de una marca será mayor en el mercado si esta cumple lo prometido, caso contrario su prestigio se verá afectado (Malo Córdova y otros, 2021).

Entre los materiales encontramos:

- Pastillas de Materiales Orgánicos, Inorgánicos y Sintéticos

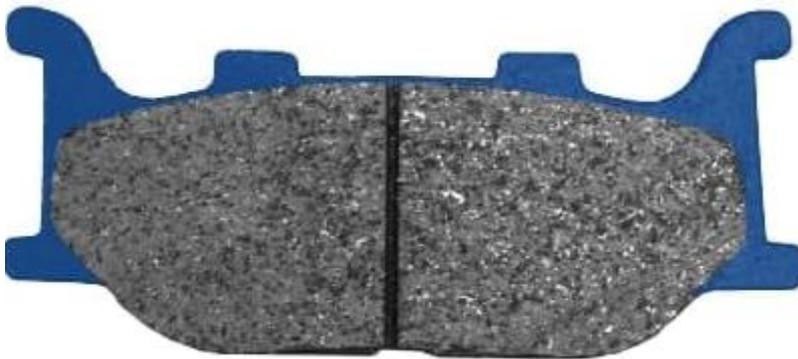
Este tipo de pastillas está compuesto mayormente de fibras provenientes de materiales orgánicos como la fibra de caucho, fibras naturales como celulosa o fibra de coco, y fibras sintéticas como la fibra de aramida (material usado para elaborar el Kevlar) o entre otros similares. También se incorporan resinas orgánicas como el epoxi o y materiales inorgánicos como la fibra de vidrio y fibras minerales, etc.

Estas pastillas orgánicas ofrecen un rendimiento silencioso y suave en comparación con pastillas de otro material tales como las pastillas semimetálicas. También se puede apreciar menos desgaste en el rotor, generan más polvo y su duración es menor en comparación a otras pastillas. Sin embargo, estas pastillas no suelen ser tan efectivas para altas temperaturas, así como las pastillas de cerámica o las semimetálicas, ya que sus condiciones parten para situaciones de frenado normal y no extrema (WAGNER, 2020).

En el mercado nacional estas pastillas resultan ser la opción más económica en comparación a las pastillas de cerámica o las pastillas semimetálicas, y su categoría se considera IAM.

Figura 19

Pastilla de Freno Orgánica



Tomado de https://www.industriasjapan.com/productos/pastillas_de_freno_premium_gg/101

- Pastillas Semimetálicas

La formulación de las pastillas de freno semimetálicas está compuesta entre un 60% y 70% de materiales metálicos como, polvo de hierro o cobre, la lana de acero y otras aleaciones compuestas, mientras que el otro 30% o 40% pertenece a los materiales de carga como el lubricante de grafito y materiales inorgánicos de relleno. Este tipo de pastillas posee una elevada potencia de detención, una mejor eficiencia para disipar el calor y una alta resistencia al desgaste.

Sin embargo, estas pastillas, debido a su composición resultan ser más abrasivas con el rotor o disco de frenos, acortando así su vida útil, también generan más residuos que las pastillas de cerámica y debido a su naturaleza resultan ser más ruidosas. Dentro del mercado estas pastillas se comercializan a un costo mayor que las pastillas orgánicas y su categoría se considera OE.

Figura 20

Pastillas de Freno Semimetálicas



Tomado de: <https://ruizhealytimes.com/sin-categoria/como-elegir-pastillas-de-freno-adecuadas/>

- Pastillas de Freno de Cerámica

Este tipo de pastilla está compuesta por fibras de cerámica, agentes de unión, materiales no ferrosos y pequeñas cantidades de metal como fibras de cobre que le ofrecen una mejor conducción térmica, sus características principales son: su nula generación de ruido, su alto poder de detención, su alta capacidad para resistir las altas temperaturas sin perder su coeficiente de fricción y su alta durabilidad. Estas pastillas generan un equilibrado desgaste en el disco de freno, como también generan menor cantidad de residuos en comparación a las pastillas orgánicas y semimetálicas. (Bridgestone Americas Tire Operations, 2021)

Debido a sus características estas resultan ser más costosas que las pastillas de freno orgánicas o semimetálicas, de manera que resultan ser el tipo de pastillas OEM y a pesar de sus características no suelen ser la primera opción dentro del mercado nacional.

Figura 21

Pastillas de Cerámica



Tomado de: https://napa.hn/search?page=4&q=pastillas*+de*+ceramica

2.2.2. Composición de las Pastillas de Freno

El forro de material friccionante de las pastillas de freno es la unión de varios elementos que aportan características únicas. La formulación y concentración de materiales va a depender de cada fabricante de pastillas de freno. Entre los materiales se pueden encontrar:

- Fibras Orgánicas e Inorgánicas y Sintéticas

Las pastillas de freno pueden contener en su composición varios tipos de fibras que le otorgan mayor estructura, entre los materiales utilizados tenemos: materiales de fibra inorgánica como la fibra de caucho; materiales orgánicos como las fibras naturales del coco o la celulosa, entre otros similares, y por último se encuentran las fibras sintéticas, estas últimas se obtienen mediante procesos químicos diseñados por el hombre, como la fibra de vidrio o aramida (material usado para elaborar Kevlar).

Figura 22*Fibra de Vidrio y Fibra de Aramida*

- Materiales de Cargas

El material de carga es también nombrado como material de fricción, ya que es un componente clave por su propiedad de frenado. polvo de metal, materiales cerámicos, talcos, mica, barita magnesita.

Figura 23*Polvo de Metal, Materiales Cerámicos y Resina*

- Aglutinantes

Los aglutinantes utilizados en las pastillas de freno son componentes especiales y a la vez esenciales para consolidar y unir los diferentes materiales utilizados para la realización de las pastillas de freno. Los aglutinantes que suelen ser los más comunes son; las resinas orgánicas como la resina fenólica y goma de hule o caucho. Estos aglutinantes les darán a las pastillas de freno su resistencia al desgaste, capacidad de disipación del calor para proporcionar un rendimiento idóneo, efectivo y seguro.

Figura 24*Materiales Aglutinantes (Goma y Resina Fenólica)*

- Lubricantes

Los materiales que son usados por lo general son polvo de petróleo, grafito, óxido de plomo, viruta de bronce y sulfuros metálicos; todos ellos ayudan a evitar el excesivo desgaste, calor y rayaduras en la superficie.

Figura 25*Grafito y Polvo de Petróleo*

- Materiales Modificadores de Fricción

Los materiales utilizados para modificar la fricción en las pastillas de frenos, son incorporados para mejorar la fricción entre las pastillas de frenado y los discos. Entre los elementos más comunes encontramos el óxido de magnesio, sílice, criolita, polvo anacardo, óxido de aluminio. Un modificador de fricción permite controlar el rendimiento de la pastilla, las características del frenado y la durabilidad de la misma, el material modificador se escoge según el tipo de pastilla que se va a construir.

Figura 26

Materiales Modificadores de Fricción (sulfuro metálico, óxidos metálicos y mica)



2.2.3. Coeficiente de Fricción

La *Society of Automotive Engineers* (SAE) ha establecido parámetros, normas y estándares internacionales para la industria automotriz, específicamente la SAE J661 define el procedimiento por el cual se debe de medir el coeficiente de fricción de los materiales de utilizados en los frenos, en este se incluye también las pastillas y las zapatas de frenado.

Este coeficiente de fricción (μ) es medido en condiciones específicas, en donde la norma proporciona los detalles de la configuración de la prueba, los equipos necesarios y los procedimientos, pese a que la SAE J661 proporciona el marco para poder realizar pruebas comparativas, la norma no especifica valores concretos para este coeficiente, ya que los mismos pueden tener variaciones dependiendo del material y las condiciones de la prueba.

La metodología de la prueba, el o los equipos y mediciones son netamente comparativas. Estos valores resultantes tendrán variación en relación al material de fricción, la o las condiciones de la prueba y sobre todo el diseño del sistema frenado del vehículo (Society of Automotive Engineers, 2021).

2.2.4. Energía Cinética

Isaac Newton, en la definición de sus leyes de movimiento estableció la relación que tiene la masa, la velocidad y la energía; estas son la base para la definición moderna de la energía cinética, y es representada en la ecuación 7:

$$E_c = \frac{1}{2}mv^2 \quad (7)$$

En donde:

E_c : es la energía cinética

m: es la masa del objeto de estudio o análisis

v: es la velocidad la que el mismo objeto se desplaza (Tripler & Mosca, 2003).

Para lograr que un vehículo logre frenar, se deberá analizar las variables de potencia, velocidad y rozamiento y la distancia de frenado que recorre el vehículo desde el punto donde se comienza a aplicar el freno, hasta que este se detiene por completo; estas consideraciones son esenciales para realizar las evaluaciones de la eficiencia del freno, y la capacidad del vehículo para detenerse de una manera segura.

2.2.5. *Parámetros Dinámicos y el Frenado*

La dinámica es la ciencia que describe el movimiento de una partícula con relación a las fuerzas que pueden influenciarla o modificar su trayectoria. En el caso de un vehículo, esta ciencia se emplea para describir el comportamiento del vehículo mientras este se encuentra en movimiento y como este se puede ver influenciado por fuerzas externas o internas que pueden modificar su comportamiento, de forma que se pueda analizar cómo sus sistemas responderán a dichas perturbaciones.

Para el análisis de las pastillas de freno existen 3 movimientos del vehículo que permitirán entender el comportamiento del vehículo durante la aplicación del freno de emergencia. Estos movimientos rotacionales están relacionados con su centro de gravedad. Para poder comprenderlo debemos imaginar un vehículo sobre un plano tridimensional, en la cual encontramos 3 ejes fundamentales, el X, el Y y la Z. La SAE define los ejes en la norma J670; esta hace referencia a la terminología empleada para el estudio de la dinámica de los vehículos; en el capítulo 3 “Ejes y Sistema de coordenadas”, podemos encontrar el detalle de

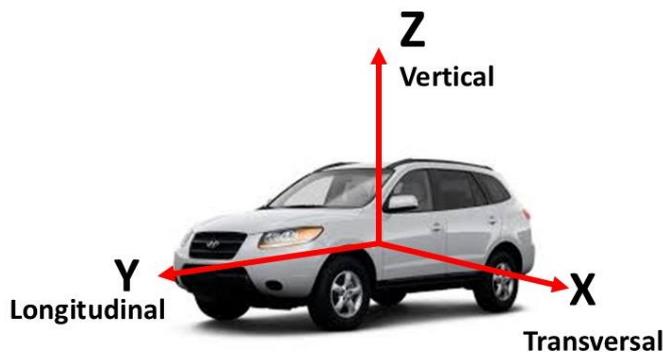
la configuración de los ejes, en donde se detalla el termino con relación al eje de estudio, donde X es el eje longitudinal, el Y el eje transversal y la Z el eje vertical. (SAE, 2022)

Durante la realización de este proyecto y debido a la configuración técnica del sensor acelerómetro, los ejes están dispuestos según, la misma se detalla a continuación.

El eje X describe los comportamientos sobre el plano transversal, mientras que el eje Y describe el comportamiento sobre el plano longitudinal y el eje Z describe el comportamiento en el plano vertical, tal como se puede apreciar en la figura 27.

Figura 27

Ejes de Rotación de un Vehículo



Estos movimientos están relacionados con el cabeceo (pitch), el balanceo (roll) y derrape (yaw), estos describen los movimientos rotacionales que puede sufrir un vehículo durante la aplicación del freno de emergencia o frenada súbita. Estos se pueden ver influenciados por fuerzas externas que actúan sobre los parámetros dinámicos del vehículo.

Estos parámetros dinámicos rotacionales se describen a continuación.

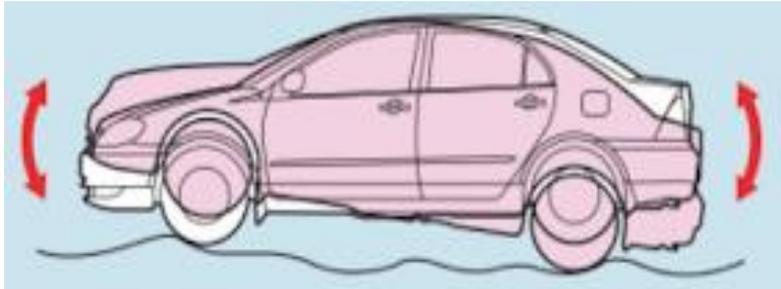
- El Cabeceo o Pitch

Este movimiento está relacionado al eje X, ya que describe la rotación del vehículo sobre su eje lateral, durante la acción de frenado súbito o de emergencia. El centro de gravedad se ve modificado por la desaceleración abrupta, causando que se traslade hacia la parte delantera del vehículo; por ello la parte delantera del vehículo se hunde y la parte posterior se

eleva, el pitch afecta la distribución de la carga entre los ejes posteriores y delanteros, esto puede influir gravemente en la eficacia del frenado y la estabilidad del vehículo.

Figura 28

Vehículo Realizando Movimiento de Cabeceo



Tomado <https://cdatecnosabana.com/revision-preventiva/suspension-de-un-carro/>

- El Balanceo o Roll

Este movimiento se encuentra relacionado al eje Y, ya que describe la rotación que sufre el vehículo sobre su eje longitudinal, es decir el movimiento que va desde el lateral izquierdo al lateral derecho o viceversa. También se miden las aceleraciones o fuerzas que actúan en los la parte frontal y posterior del vehículo; es decir el avance o retroceso del vehículo. También se ve afectado el centro de gravedad por fuerzas externas como centrífuga, que ocurre cuando un vehículo se traslada por una curva; si la curva es hacia el sentido derecho, el vehículo se inclinara hacia el exterior de la curva. En situación de frenado de emergencia esta puede verse reflejado por el desequilibrio de los ejes, que por efecto de la desaceleración el vehículo inclina su peso hacia un lateral del vehículo, este fenómeno antes mencionado es similar al que sucede en un analizador de eficiencia de frenado basado en el desequilibrio de ejes. (Ordoñez Vernaza, 2022)

Este movimiento está relacionado mucho con el sistema de suspensión y su respuesta a los cambios sufridos durante el movimiento del vehículo, se debe tener en cuenta que un exceso de roll puede causar derrape en el vehículo.

Figura 29

Movimiento de Balanceo en un Vehículo



Tomado <https://cdatecnosabana.com/revision-preventiva/suspension-de-un-carro/>

- El Derrape o Yaw

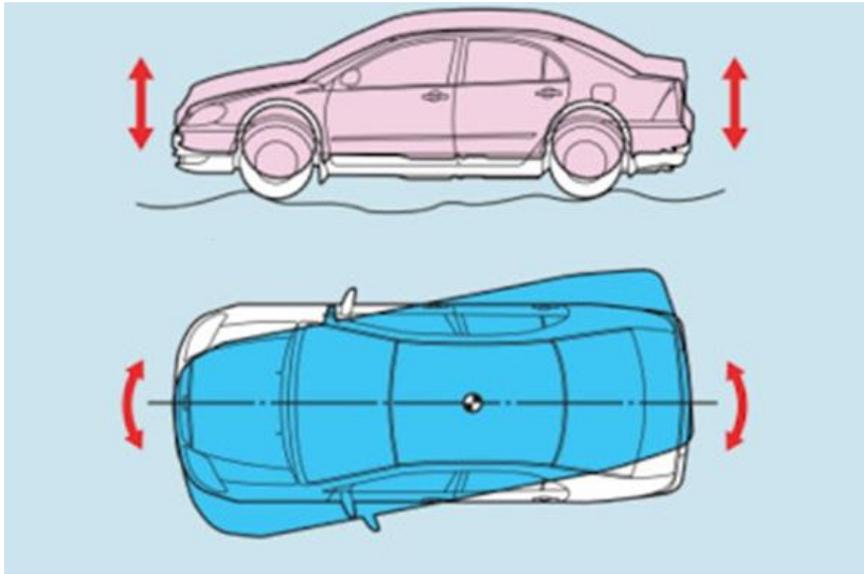
Este movimiento se realiza sobre el eje Z o vertical del vehículo, y describe el movimiento que realiza el vehículo en dirección izquierda o derecha de la vía, también mide los movimientos de rebote del vehículo; es decir sobre su eje vertical los movimientos de subida o bajada y también mide las aceleraciones que actúan encima o por debajo del vehículo.

Este movimiento rotacional permite la comprensión del comportamiento de los sistemas de dirección y suspensión ante la situación de frenado súbito o de emergencia, también permite analizar la distribución de la fuerza de frenado, ya que una mala distribución puede desencadenar movimientos erráticos que afecten la estabilidad del vehículo en movimiento (Jazar, 2017).

En la figura 30 se puede apreciar los movimientos que se producen entorno al eje vertical del vehículo. En la cual se puede distinguir el movimiento de derrape y el movimiento de rebote.

Figura 30

Movimiento de Rebote y Movimiento de Derrape en el Vehículo,



Tomado <https://cdatecnosabana.com/revision-preventiva/suspension-de-un-carro/>

2.2.6. Eficacia del Frenado

La eficacia del frenado es evaluada por la capacidad que tiene el sistema de frenos para reducir la velocidad de manera controlada, rápida, con seguridad y estabilidad en las distintas condiciones; para ello las normas, regulaciones y estándares proporcionados por la industria automotriz establecen los parámetros de eficacia.

No es recomendable frenar de forma abrupta ya que esto podría provocar inestabilidad en el vehículo que se está deteniendo, y esto se llama "bloqueo de ruedas" o "bloqueo de frenos", en donde se puede apreciar que las ruedas del vehículo dejan de girar a consecuencia de la aplicación excesiva empleada en el frenado.

Los fabricantes en la actualidad contemplan las múltiples situaciones por las que puede pasar el conductor y se vieron en la necesidad de incorporar equipos de frenos antibloqueo llamados Sistema de Frenos Antibloqueo (ABS), este sistema permite que el conductor pueda controlar el auto mientras se reduce la distancia de frenado (Borja y otros, 2008).

2.2.7. Sistema de Frenos Antibloqueo

Conocido por sus siglas en inglés como ABS (Anti-lock Brake System), es uno de los avances de seguridad vehicular más importantes ya que a través de medios electrónicos controla la presión del líquido de frenos en los bobines de las ruedas; este tipo de sistema permite tomar el control entre los espacios recorridos al frenar y el espacio del frenado frente a las leyes del movimiento antes de que el vehículo pierda el control, direccional, tal como sucede en los vehículos sin este tipo de sistemas. (Martí Parera, 1993)

2.2.8. Sensor Arduino

Castellón, en su descripción de la historia del proyecto Arduino nos comenta que este elemento inicio como proyecto de tesis de maestría para la Interaction Design Institute Ivrea (IDEII), Italia. Hernando Barragán creó la plataforma de Wiring, bajo la supervisión de Massimo Banzi y Casey Reas. Esta plataforma de Hardware y Software de código abierto es utilizada para el desarrollo de proyectos eléctricos y digitales. Cambiando los materiales a ATmega8 abarataron los costos y renombraron el proyecto como Arduino.

Hoy en día, las placas de Arduino son compatibles, versátiles y su interacción es aplicada con varios actuadores, dispositivos electrónicos y sensores. El ambiente de interacción entre esta herramienta y los demás componentes es usado a través del lenguaje de programación basado en C/C++ simplificado, facilitando su uso para los distintos usuarios (Morán, 2022).

En este proyecto, específicamente durante las pruebas de campo de las distintas pastillas de freno; el Arduino será empleado para poder recolectar la información de los sensores que se encuentran instalados en las mordazas y pastillas de frenos.

2.2.9. Inteligencia Artificial

Pertenece al campo de la informática y es un sistema capaz de poder llevar a cabo tareas que normalmente son realizadas por los seres humanos; estos sistemas son capaces de aprender, razonar, resolver problemas, comunicarse con un lenguaje natural, similarmente a los humanos.

En la actualidad estos sistemas son empleados de diferentes maneras, como el análisis e interpretación de datos, hasta el desarrollo y diseño de aplicaciones virtuales.

En la rama de la ingeniería automotriz está muy presente los sistemas de IA, se utilizan estos sistemas en la conducción autónoma, en la optimización de los diseños vehiculares y como asistentes vehiculares y demás. (Greek, 2018)

Para la realización de este proyecto se empleó la IA para el desarrollo y corrección de los códigos de programación del Arduino

Figura 31

Aplicación de una IA en la Conducción Autónoma



Tomado de: <https://computerhoy.com/motor/inteligencia-artificial-mundo-sector-automovil-1266250>

2.2.10. Teorema de Nyquist

El teorema de Nyquist es necesario para adquisición de datos mediante dispositivos de captación de datos, el mismo establece que *“Para construir una señal analógica de manera precisa, es necesario muestrearla a una frecuencia al menos el doble de la frecuencia máxima presente en la señal original.”* (Smith, 1997). El principio de Nyquist es necesario para evitar la pérdida de información durante la captación de datos, en la realización de este proyecto se empleó sensores que transmitían su señal al Arduino y por medio del programa de Excel se procedió con el registro de la información para su posterior tratamiento. El teorema de Nyquist

permitió la calibración de la recepción de los datos digitales hacia el programa de Excel; en donde la calibración del programa de Excel estaba dispuesta para captar 2 veces más rápido la información transmitida por el Arduino.

2.2.11. Prueba de Eficacia

Las pruebas a la que serán sometidas las distintas categorías de pastillas de freno, mediante la utilización de un vehículo para comprobar su eficacia serán realizadas como pruebas de campo.

La realización de las pruebas fue en un ambiente controlado con la finalidad de evitar accidentes y consecuencias relacionadas con elementos externos a la prueba.

Una variación inferior, es decir que el vehículo no alcanza a frenar con la rapidez adecuada, provocaría un accidente, y una variación superior producirá derrapes en el asfalto.

2.2.12. Especificaciones Generales

- Frenado de Servicio

Es el principal sistema para que un vehículo desacelere o frene de manera segura y eficaz. Existirán variaciones que pueden ser un factor determinante para su eficacia.

La acción que es empleada en el frenado de servicio debe de ser regulable y controlada para poder aplicar la fuerza correcta de acuerdo al criterio del conductor, a su vez este sistema permite que el conductor mantenga las manos en el volante para llevar el control necesario en todo momento ya sea en dirección ascendente o descendente. Para ello se puntualiza:

- Conductor: es quien cumple el papel principal, debe mantener sus manos siempre en el volante de manera que mantenga la dirección del vehículo y aplicando la fuerza necesaria sobre el pedal del freno hasta detener el vehículo.
- Fuerza de frenado: la fuerza de frenado es la fuerza que genera el sistema de frenos de un vehículo mediante la multiplicación de la fuerza ejecutada sobre el pedal de frenos.

- Pastillas de Freno

Las distintas pastillas de frenos juegan un papel fundamental, ya que cada tipo cuenta con características específicas de alta eficiencia o una baja eficiencia en comparación a otras pastillas del mercado, y de acuerdo a las condiciones de cada prueba estas tendrán variaciones relacionadas a la distancia de frenado.

Capítulo III

Metodología

3.1. Diseño Metodológico

3.1.1. Método de Investigación

Para el desarrollo del presente trabajo de titulación se ha utilizado el método científico experimental; ya que este tipo de metodología permite al investigador conocer conceptos, leyes y también principios para que, de modo eficiente, se puedan desarrollar pruebas y obtener datos que permitirán conocer los alcances o limitaciones de lo investigado.

3.1.2 Tipo de Investigación

El proyecto se ha llevado a cabo a través de los tipos de investigación explicativa y cuantitativa; siendo la investigación explicativa la que nos permita identificar las causas y efectos de las pruebas a realizar en el vehículo comprendiendo de esta manera las relaciones causales que existen en las variables implementadas. A su vez, la investigación cuantitativa nos permitirá recopilar y analizar todos los datos numéricos exportados desde los Arduinos hacia el ordenador.

También podemos encontrar que, entre los métodos más comunes para realizar el análisis y explicación de los datos, encontramos que el método de análisis descriptivo, mismo que permitirá presentar los datos resumidos, pero de manera significativa que nos permitan analizar los resultados.

3.1.3. Especificaciones Generales

Para disminuir o detener la marcha del vehículo de forma paulatina, y de manera segura; se usa el freno de servicio o de pedal. Este freno es eficaz ya que actúa directamente sobre los 4 discos de freno, ejerciendo la presión suficiente y adecuada para detener la marcha.

Pese a que el freno de servicio es aplicado a las ruedas del vehículo, estas no siempre suelen frenar al mismo tiempo, dentro de los factores más comunes encontramos a sistema de

frenos desequilibrado, problemas en el sistema hidráulico, sensores y sistemas electrónicos de frenado, desgaste desigual de los frenos, problemas en el diferencial, superficie de la carretera y/o condiciones ambientales, entre otras.

Para la presente investigación sobre la eficiencia de frenado del vehículo sujeto a las pruebas, se tomarán los siguientes elementos fundamentales; pastillas de frenos, presión del caliper, temperatura de pastillas y acelerómetro para analizar las fuerzas experimentadas durante los frenados de emergencia y como afectan al vehículo, odómetro; el cual permite tomar la distancia que recorrió el vehículo hasta el pare total, durante la ejecución del freno.

3.1.4. Especificaciones Normativa SAE J299

Esta norma SAE es la que proporciona el método para la determinación de las distancias de frenado en todos los vehículos motorizados y con cualquier tipo de sistema de frenos y en cualquier superficie; permitiéndole al usuario sugerir o imponer condiciones de prueba especificadas por cualquier fuente y designa la instrumentación preferida y las técnicas para lograr la precisión práctica con el equipo actual (SAE, 2009).

- Distancia de Frenado SAE

La distancia la cual recorre el vehículo desde el inicio de la aplicación de los frenos hasta el punto en donde se detiene por completo.

- Velocidad Inicial de Frenado

Velocidad a la cual se ejerce la aplicación del freno.

- Retardo del Sistema de Instrumentación

Espacio de tiempo donde se aplica el freno y comienza la lectura de los datos.

- Instrumentos y Equipos de Medición

Dispositivos que monitoreen la velocidad y registren esta información con un intervalo de error no mayor que $\pm 0,5\%$ de la velocidad real.

- Procedimientos de la Prueba

Realizar frenadas previas a velocidades similares. Al alcanzar la velocidad requerida, el conductor deberá de mantener el pie en el freno hasta que vehículo motorizado se detenga por completo.

Por los límites sugeridos se podrá conocer si existe derrape de las ruedas, la fuerza empleada en el pedal, la desaceleración, la presión, el movimiento del control de freno, el poder de control del vehículo, límites de carril o una combinación de estos.

- Registrar los Datos

Es importante llevar un registro de los datos necesarios para conocer todos los factores que se involucran en la prueba, entre ellos están; la velocidad al pisar el pedal de freno o desde la línea de freno establecida, la condición de la vía incluido su temperatura, la dirección del vehículo, etc.

3.1.5. Especificaciones Normativa SAE J2909

El propósito de la norma SAE J2909 es establecer condiciones y parámetros para las pruebas de frenado en vehículos que no superen los 4536 kg; la velocidad para emplear no se encuentra definida en esta norma, conociendo que los fines pueden variar de acuerdo a las condiciones experimentales en asfalto seco o mojado, aunque se recomienda que la velocidad sea alrededor de los 100 km/h. Los neumáticos, pese a que tienen un rol importante, son aceptados todos los tipos incluso aquellos todoterrenos (SAE, 2018).

- Sensores y Equipos de Medición

Se deben calibrar y verificar que los dispositivos se encuentren en correcto funcionamiento antes de iniciar cada prueba, esto con la finalidad de que la información no afecte la medición de las variables de velocidad y distancia de los transductores elegidos. Cada transductor debe de ser calibrados de acuerdo a las instrucciones del fabricante, usando el software correspondiente recomendado.

Tabla 1*Parámetros del Vehículo - SAE*

Variable	Rango del Sensor	Precisión del Sensor
Velocidad Longitudinal	0 a 150 km/h	±0,5 km/h
Distancia Longitudinal	0 a 100 m	±0,2%
Fuerza del Pedal de Frenos (Activación)	0 a 700 N	±5 N

Tomado de (SAE, 2018)

También son considerados parámetros adicionales como:

Tabla 2*Parámetros Opcionales del Vehículo - SAE*

Canal de Datos del Vehículo	Rango del Sensor	Precisión del Sensor
Temperaturas de las Pastillas de Freno	0 a 200 °C	1,0 °C
Presión del Cilindro Maestro de Frenos	0 a 20000 kPa	100 kPa
Presiones del Calibrador de Frenos	0 a 20000 kPa	100 kPa
Temperatura de la Superficie de la Carretera	0 a 75 °C	0,5 °C
Temperatura del Aire Ambiente	0 a 50 °C	0,5 °C
Acelerómetro Longitudinal	0 a 1,2 G	0,01 G
Fuerza del Pedal de Frenos	0 a 1000 N (máximo 1500 N)	±5 N

Tomado de (SAE, 2018)

- Para el Registro de Datos

Se recomienda que la capacidad de los dispositivos pueda obtener de los canales de datos la información mínima de muestreo de 100 hz, con la misma referencia de tiempo.

- Finalidad del Sensor para Pastillas de Frenos

Se debe instalar termopares en el centro de la pastilla de freno. La finalidad de medir las temperaturas que ejercen las pastillas de freno es reconocer su temperatura antes del accionar del ABS.

- Presión de los Neumáticos

Es importante mantener una presión estándar de acuerdo a lo sugerido por el fabricante, y esta presión debe mantenerse en cada prueba para evitar desviaciones y asegurándose que al ajustar la presión el neumático no se encuentre caliente.

- Pruebas con Peso

El vehículo en su depósito de combustible se encuentra a $\frac{3}{4}$ de su capacidad completa. Las primeras pruebas se llevarán a cabo únicamente con el conductor y la instrumentación necesaria para la recolección de datos, siendo que esta carga no debe de superar los 150 kg. En las pruebas con carga se debe considerar que el peso de los ejes no supere los 50 k entre ellos.

- Condiciones Operativas del Vehículo

Los vehículos con transmisiones manuales deben tener el embrague desenganchado o estar en punto muerto antes de aplicar el pedal de freno durante la parada. Todas las aberturas del vehículo (ventanas, capó, maletero, etc.) deben estar cerradas. Todos los accesorios del vehículo deben estar apagados, excepto los faros si son necesarios para la operación en la pista de pruebas.

En vehículos con refuerzo de vacío se toma en consideración que la fuerza de frenado va a depender del nivel de vacío del freno; por lo que se debe asegurar que existe la suficiente capacidad de frenado antes de cada prueba individual. La sugerencia de verificación será realizar un recorrido intermedio entre prueba y prueba para que el sistema de freno logre enfriarse.

- Temperatura Ambiente y Temperatura de la Pista

La normativa SAE J2909 indica que la temperatura del ambiente y de la pista de pruebas podrán tener una variación de hasta 10 °C de diferencia. Adicional la SAE indica la tolerancia de temperatura de la superficie de la pista de pruebas para neumáticos en la siguiente tabla.

Tabla 3

Mínimos y Máximos de Tolerancia de Temperatura - SAE

Tipo de Neumático	Superficie Seca de la Pista de Pruebas			Aire Ambiente	
	Mínimo [°C]	Máximo [°C]	Temperatura de referencia (T.Ref). Rango	Mínimo [°C]	Máximo [°C]
Verano	T.Ref - 8	T.Ref +8	20 – 45	10	55
Todas las estaciones – Todo Terreno	5	55	5 – 55	5	40

Tomado de (SAE, 2018)

- Superficie de Fricción de la Pista

El propósito de calcular la fricción de la superficie es proporcionar un punto de referencia para comprobar los distintos momentos de frenado. Estos momentos van a depender de factores como la temperatura, el historial de uso de la pista, la lluvia, la humedad, la limpieza; y varios otros factores.

- Procedimiento de la Prueba

El vehículo de prueba debe de ir por encima de 5 a 8 km/h de la velocidad objetivo. SAE sugiere el rango entre 80 a 120 km/h. Los vehículos con transmisión manual, deben realizar la prueba sin embrague o cambiar a punto muerto para evitar que el vehículo se apague al bajar la velocidad. De manera adicional, para los vehículos que cuenten con ABS, se debe mantener presionado el pedal de freno para que este sistema se active lo más rápido posible y así mantener el control durante el proceso.

Se tomará la distancia de frenado desde que la fuerza del pedal aumente hasta que el vehículo se detiene por completo.

3.1.6. Datos Técnicos del Vehículo Sujeto a Prueba

Se especifican los datos más relevantes en relación a las pruebas que son realizadas en la obtención de datos.

- Modelo del Vehículo

El vehículo Hyundai Sante Fe CRDI 2.2 del año 2009

Tabla 4

Datos del Modelo del Vehículo

Detalle	Motor Diesel 2,2 CRDI
Tipo Motor	4 cilindros en línea SOHC
Diámetro y carrera	87 x 92 mm
Desplazamiento en centímetros cúbicos	2188 cc
Orden de encendido	1 - 3 - 4 - 2
Velocidad al Ralentíen	790 ± 1000 rpm

Tomado de *Hyundai, 2009*.

- Dimensiones, Peso y Capacidades del Vehículo

Tabla 5

Dimensiones, Peso y Capacidades

Dimensiones Peso y Capacidades	
Tipo de Carrocería	SUV
Número de puertas	5
Longitud	4675 mm
Anchura	1890 mm
Altura	1795 mm
Distancia entre ejes	2700 mm
Distancia entre las ruedas delanteras	1615 mm
Distancia entre las ruedas posteriores	1620 mm
Peso	1818 kg
Volúmenes de maletero	
Volumen con una fila de asientos disponible	1582 litros
Volumen mínimo con dos filas de asientos disponibles	774 litros
Número de plazas	5
Distribución de asientos	2 + 3

Tomado de <https://www.manual.ec/hyundai/santa-fe-2009/manual>

- Sistema de Frenos

Tabla 6*Sistema de Frenos*

Elemento	Especificación	
	Tipo	Tándem
Cilindro maestro	Cilindro	26,99 mm (1,063 pulg)
	Carrera del pistón	31 mm (1,22 in.)
	Interruptor del nivel de líquido	Incorporado
Relación de servo	Tipo	Tándem de 9 "+ 10"
	Relación de servo	09:1
Freno delantero	Tipo	Disco ventilado
	Diámetro del disco	298 mm (11,73 pulg)
	Configuración del caliper	Flotante de doble pistón
Freno trasero	Tipo	Disco sólido
	Diámetro del disco	302 mm (11,89 pulg)
	Configuración del caliper	Flotante mono pistón
Freno de estacionamiento	Tipo	DIH (Tambor en sombrerete)
	Diámetro del tambor	190 mm (7,48 pulg)
Líquido de frenos		DOT 3

Tomado de <https://www.manual.ec/hyundai/santa-fe-2009/manual>

- Especificación ABS

Este vehículo cuenta con sistema de frenos antibloqueo con las siguientes especificaciones:

Tabla 7*Especificaciones del ABS*

Pieza	Elemento	Valor estándar	Observación
HECU (Unidad de Control Hidráulico y Electrónico)	Sistema	4 canales 4 sensores (Solenoides)	· Sistema ABS: Control ABS y EBD
	Tipo	Motor, tipo integrado con relé de válvula	
	Voltaje funcionamiento	8 V ~ 16 V (CC)	
	Temperatura de funcionamiento	-40 °C ~ 120 °C (-40 °F a 248 ° F)	
Luz de aviso	Voltaje funcionamiento	12 V	· Luz de aviso del ABS: Fallo ABS · Luz de aviso de Frenos: Freno de estacionamiento, líquido de frenos, fallo EBD.
	Consumo eléctrico	80 mA	
	Voltaje de alimentación	DC 4,5 V ~ 2,0 V	
Sensor de velocidad de la rueda activa	Temperatura de funcionamiento	-40 °C ~ 150 °C	
	Corriente de salida baja	5,9 mA ~ 8,4 mA	Tipo 7 mA
	Corriente de salida alta	11,8 mA ~ 16,8 mA	Tipo 14 mA
	Margen de frecuencia	1 Hz ~ 2500 Hz	
	Vacío de aire	Delantero 0,15 mm ~ 1,5 mm Trasero 0,2 mm ~ 1,2 mm	Tipo 0,7 mm Tipo 0,7 mm
	Rueda fónica	48 dientes	
	Ciclo de trabajo	30% ~ 70%	

Tomado de <https://www.manual.ec/hyundai/santa-fe-2009/manual>

3.1.7. Datos Técnicos de las Pastillas de Frenos

Las pastillas de frenos, en estas pruebas son fundamentales para demostrar la eficiencia del frenado, ya que las mismas cuentan con distintas formas de fabricación que permiten a esta investigación demostrar las distintas variaciones en relación a su eficiencia.

- Pastillas Original Equipment Manufacturer (OEM)

Pastillas diseñadas por el fabricante original de los vehículos, entre sus especificaciones principales se encuentra la compatibilidad para dar el mejor rendimiento posible en relación a los estándares.

También encontramos que se ajustan y funcionan de manera adecuada, cumplen con la calidad necesaria dando sello de garantía sobre el repuesto, estas por lo general son comercializadas en las mismas casas de venta del vehículo.

- Pastillas Original Equipment (OE)

Este tipo de pastillas cumplen con características de las pastillas OEM, pero no cuentan con los mismos componentes y calidades de fabricación de estas, adicional estas son comercializadas en cualquier tienda de venta de repuestos especializados. Normalmente las autopartes OE provienen del proveedor de partes OEM.

- Pastillas Independent Aftermarket (IAM)

Son pastillas genéricas que buscan competir en el mercado a través de materiales similares en las pastillas y con precios competitivos. Normalmente estas son fabricadas utilizando ingeniería inversa.

Las pastillas serán cambiadas en cada prueba, ya que se realizará de manera independiente con y sin carga adicional en el vehículo de ensayo, la carga es de 200 kilogramos de arena en la parte posterior y 100 kilogramos en la parte delantera; para esto debe:

- Cambiar las pastillas: en cada cambio de pastillas de freno, se tomarán las debidas evidencias fotográficas del antes y del después para poder ayudar en el proceso de análisis de los resultados.
- Regular y ajustar: componentes del sistema de frenado en caso de ser necesario para evitar variaciones no deseadas.

Figura 32*Carga Aplicada a las Pruebas***3.1.6 Especificaciones de los Neumáticos**

Los neumáticos tienen un papel fundamental en las pruebas, estos son revisados en cada inicio de circuito para evitar desviaciones en relación al peso, por lo que se establece la presión en 32 Psi en cada neumático.

- Modelo del Neumático

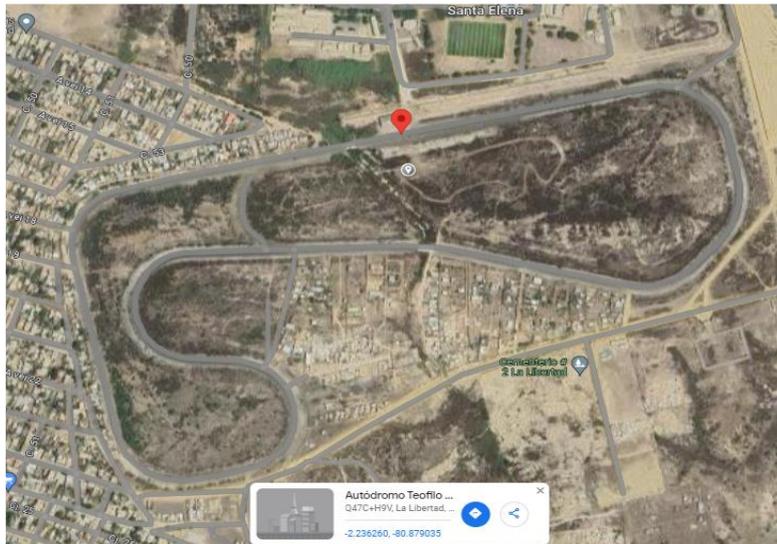
Radial Adventure 245/65 para rin 17, su estructura es para todo terreno ideal para camiones y SUV. Entre sus características principales encontramos; en su parte central la delimitación por bloques entrelazados con forma de S, sus ranuras 3D cuentan con bordes biselados lo que proporciona mejor agarre en todo tipo de terreno; ofreciendo de manera adicional mayor estabilidad u control ya sea en superficies con objetos sueltos o rígidos.

3.1.7. Pista de Autódromo

La pista del autódromo Teófilo Bucaram, en el cual se desarrollaron las pruebas, con los permisos legales correspondientes a las autoridades de la provincia de Santa Elena cantón La Libertad.

Figura 33

Autódromo Teófilo Bucaram



Tomado de *Google Maps*.

- Tipo de Pista

La pista del Autódromo Teófilo Bucaram es de asfalto a lo largo de toda su extensión, y cuenta con las condiciones idóneas para realizar las pruebas de frenado de emergencia y las vueltas para acoplamiento de las pastillas de manera segura.

Figura 34

Condiciones de la Pista



3.1.8. Condiciones Climáticas durante las Pruebas de Frenado

Durante el día se realizaron las pruebas, las condiciones climáticas eran favorables con un clima seco, y con una temperatura ambiental de 34 °C y una temperatura en la superficie del suelo de 45 °C.

3.2. Equipos y Técnicas de Medición de Frenado

3.2.1. Equipos de Captación de Datos

Para realizar las comprobaciones en tiempo real de la eficiencia de frenado se han empleado equipos que nos permiten realizar mediciones y captar datos dinámicos en tiempo real, para posteriormente analizarlos y poder generar los criterios de aprendizaje correspondientes a este trabajo.

- Arduino

El Arduino es uno de los elementos claves para adquirir y tratar la información proporcionada por los sensores que se encuentran instalados en las mordazas y pastillas de frenos.

Figura 35

Sensores Ubicados en Mordaza y Pastilla



Se determina que durante las pruebas se debe:

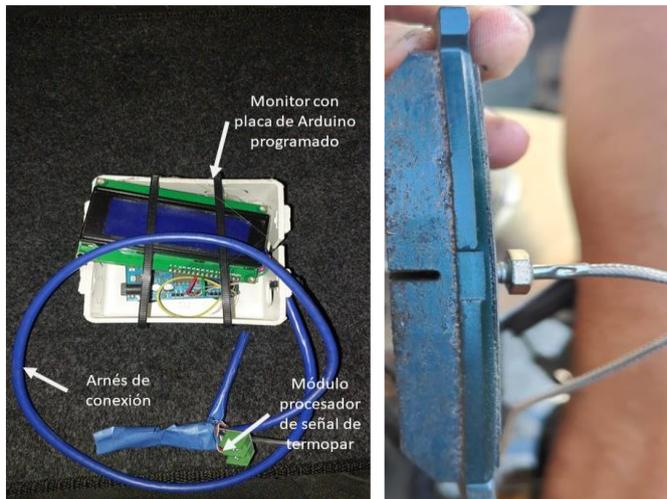
- Verificar: antes de iniciar las pruebas que la información de los sensores se esté transmitiendo de manera correcta.
- Comprobar, regular y/o ajustar: los ajustes necesarios en el Arduino para evitar fallos en la adquisición de datos.

Cada prueba, con las distintas pastillas, será realizada con un intervalo de 5 minutos entre ellas, permitiendo de esta manera el reposo del vehículo, el intercambio de pastillas, las comprobaciones necesarias y la verificación de la información y componentes; para finalmente obtener los resultados presentados en una tabla comparativa.

- Arduino con Aplicación en Termopar Tipo K para Medir la Temperatura en las Pastillas

Para el registro de los datos de la temperatura de la pastilla en vivo se procedió al ensamble de una placa de programación de Arduino con un sensor termopar tipo k y un módulo MAX6675; el cual convierte la señal analógica del sensor en digital para la placa de Arduino y la misma cuenta con la programación para poder transmitir las señales del termopar en tiempo real a un ordenador y recopilar la información de la temperatura registrada en la pastilla durante el frenado.

Se debe tener en cuenta que la temperatura es un valor que aumenta paulatinamente, en el caso de las pastillas, estas mediante el proceso de asentamiento de las pastillas se elevó la temperatura para que el sensor mida temperaturas cercanas a temperatura de funcionamiento y así sea más fácil la transmisión de los datos del sensor con relación al uso de las pastillas de freno.

Figura 36*Termopar con Arduino*

Para lograr la instalación del termopar fue necesario realizar un trabajo de mecanizado en donde se utilizó una broca y un machuelo con la medida de la rosca del perno del termopar.

Figura 37*Trabajo de Mecanizado en la Pastilla de Frenos*

En la obtención de datos se utilizó el código de programación correspondiente para la medición de la temperatura. Ver Anexo A.

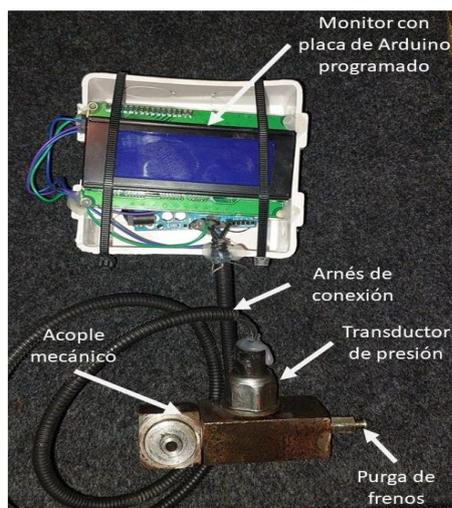
- Arduino con Aplicación para Transductor de Presión para Recolectar los Datos de Presión en el Caliper

El Arduino cuenta con una programación especificada y calibrada para poder censar en tiempo real la presión generada durante el frenado de emergencia en el caliper delantero y posterior, obtenido los datos sobre el tiempo necesario que requirió las distintas pastillas al ejercer la fuerza de frenado.

Hay que tener en cuenta que para la calibración de los sensores esto se realiza de manera individual, ya que la presión generada por el sistema de frenos en la parte posterior no será la misma en la delantera del vehículo.

Figura 38

Transductor de Presión con Arduino



Para poder utilizar el transductor de presión se recurrió a diseñar e implementar un acople de dos piezas, resistente a altas presiones que permita la interacción del transductor sin perder la estanqueidad del sistema hidráulico de frenos. Ver Anexo B y Anexo C.

Figura 39

Transductor de Presión y Acople



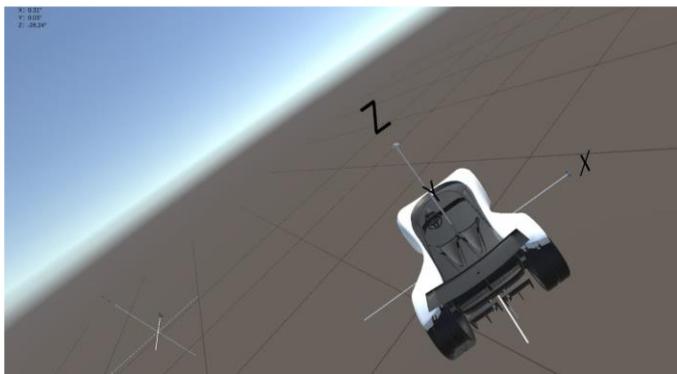
En la obtención de datos se utilizó el código de programación correspondiente para la medición de libras por pulgada cuadrada (*Pound-force per Square Inch, PSI*). Ver Anexo D.

- Sensor de Aceleración WIT MOTION

El sensor de aceleración *WIT MOTION* fue empleado para poder interpretar en tiempo real cual es la situación del vehículo al momento de la desaceleración, también permite captar las fuerzas experimentadas en los ejes Y, X y Z durante la acción de frenado y como estas afectan al vehículo y los ocupantes de este.

Figura 40

Vista en 3D del Vehículo.



Este dispositivo integra varias funcionalidades de medición como la aceleración, la velocidad angular y giroscopio con una resolución de 0.2° con los cuales podemos detectar los parámetros dinámicos durante la ejecución del frenado, el mismo cuenta con los siguientes datos técnicos:

Tabla 8

WitMotion Hoja de Datos (Datasheet)

Parámetros	Especificación
Tensión de Trabajo	TTL:3.3 V-5 V
Corriente	<40 mA
Tamaño	61.2 mm x 45.2 mm X 27.8 mm
Datos	Ángulo: X Y Z, 3 ejes
	Aceleración: X Y Z, 3 ejes
	Velocidad Angular: X Y Z, 3 ejes
	Campo Magnético: X Y Z, 3 ejes
	Presión del Aire: 1 eje
	Posicionamiento (longitud, latitud)
	Velocidad sobre el suelo
	Número de satélites
	Tiempo, Cuaternión
Frecuencia de salida	0.2 Hz - 200 Hz
Interface	Nivel de serie TTL (lógica transistor - transistor)
Velocidad de transmisión	9600 (predeterminado, puede cambiarse)

Tomado de *WitMotion*

Figura 41

Acelerómetro de la Marca WIT-MOTION



Tomado de https://m.media-amazon.com/images/I/51Cf9HBLvoL._AC_UF894,1000_QL80_.jpg

- Odómetro

Esta herramienta nos permite poder medir largas distancias, para el caso de investigación será utilizada para medir el desplazamiento del vehículo desde el inicio del frenado hasta donde se encuentra el vehículo ya detenido.

Figura 42

Odometro Utilizado para Medir las Distancias



- Termómetro Digital

Este instrumento fue empleado para medir la temperatura del piso y otros componentes como los discos de freno. Esto permitió obtener un parámetro más que sirvió para comprender aún más los efectos y fenómenos del frenado de emergencia. Este termómetro fue utilizado para medir la temperatura del suelo y la temperatura del disco de frenos, valores referenciales para la realización de esta prueba.

Este dispositivo mide la temperatura mediante una mira infrarrojo el cual permite apuntar hacia un punto específico de los componentes y de esa forma tener una lectura precisa de la temperatura de los elementos del sistema de frenos.

Figura 43

Termómetro Digital



Tomado de https://es.made-in-china.com/co_dgmengtai/product_Industrial-Usage-Digital-Laser-IR-Thermometer-Infrared-Pyrometer-Temp-Meter-Point-Gun_uoinoesyey.html.

- Ordenador Portátil

Emplear ordenadores portátiles es importante ya que mediante la opción de transmisión de datos del programa Excel, se pudo grabar y guardar los registros de datos que los Arduinos generaban en tiempo real y con la escala de tiempo en milisegundos.

Figura 44

Recepción de Datos de la Aplicación Excel

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
	TIME	MORDAZA DELANTERA	MORDAZA POSTERIOR		TIME	MORDAZA DELANTERA	MORDAZA POSTERIOR		TIME	MORDAZA DELANTERA	MORDAZA POSTERIOR		TIME	MORDAZA DELANTERA
54	11:45:24.67	15.28	15.21	11:56:47.31		15.95	15.26		12:10:15.70	15.41	15.39		12:14:58.23	15.49
55	11:45:24.96	15.32	14.83	11:56:47.20		15.89	15.73		12:10:15.59	15.18	14.71		12:14:58.18	15.20
56	11:45:24.45	15.36	15.83	11:56:47.09		15.84	15.07		12:10:15.49	15.81	15.47		12:14:58.07	15.33
57	11:45:24.34	15.30	14.60	11:56:46.98		15.66	15.34		12:10:15.37	15.57	15.14		12:14:57.96	15.61
58	11:45:24.23	15.83	15.65	11:56:46.87		15.63	15.44		12:10:15.26	15.22	14.67		12:14:57.85	15.92
59	11:45:24.12	15.30	14.99	11:56:46.76		13.80	13.76		12:10:15.15	15.81	15.28		12:14:57.74	15.79
60	11:45:24.01	15.42	15.30	11:56:46.65		15.96	15.52		12:10:15.04	15.69	15.43		12:14:57.63	15.38
61	11:45:23.90	15.93	15.37	11:56:46.54		15.82	15.63		12:10:14.93	15.46	15.13		12:14:57.52	17.88
62	11:45:23.79	15.36	14.89	11:56:46.43		15.84	15.15		12:10:14.82	15.53	15.59		12:14:57.41	16.29
63	11:45:23.68	15.12	14.57	11:56:46.32		15.74	14.75		12:10:14.71	15.63	15.37		12:14:57.30	15.88
64	11:45:23.57	15.15	14.69	11:56:46.21		15.14	14.95		12:10:14.60	15.92	15.57		12:14:57.19	15.40
65	11:45:23.46	15.29	14.85	11:56:46.10		15.21	14.99		12:10:14.49	15.87	17.78		12:14:57.08	15.24
66	11:45:23.35	15.95	15.15	11:56:45.99		15.34	15.33		12:10:14.38	15.43	17.89		12:14:56.97	15.78
67	11:45:23.24	15.45	14.90	11:56:45.88		15.90	15.67		12:10:14.27	15.44	10.82		12:14:56.86	15.56
68	11:45:23.13	15.85	15.25	11:56:45.77		15.21	14.87		12:10:14.16	15.45	8.38		12:14:56.75	15.22
69	11:45:23.02	15.11	14.88	11:56:45.66		15.22	15.15		12:10:14.05	15.77	15.08		12:14:56.64	17.93
70	11:45:22.91	15.36	14.61	11:56:45.55		15.69	15.64		12:10:13.94	15.46	18.04		12:14:56.53	281.138
71	11:45:22.80	15.89	15.44	11:56:45.44		1873.12	830.79		12:10:13.83	15.89	63.96		12:14:56.42	14.29
72	11:45:22.69	15.73	7.22	11:56:45.33		2205.65	1354.72		12:10:13.72	11.70	36.16		12:14:56.31	81.90
73	11:45:22.58	15.42	7.84	11:56:45.22		1844.76	1188.15		12:10:13.61	1887.20	1045.27		12:14:56.20	212.80
74	11:45:22.47	15.93	10.70	11:56:45.11		827.24	395.87		12:10:13.50	2306.92	328.24		12:14:56.09	2206.94
75	11:45:22.36	1493.97	215.97	11:56:45.00		1810.75	889.56		12:10:13.39	1888.89	932.20		12:14:55.98	2622.75
76	11:45:22.25	82.77	29.31	11:56:44.89		2097.24	1252.64		12:10:13.28	822.46	437.07		12:14:55.87	1893.13
77	11:45:22.14	1820.14	888.80	11:56:44.78		190.64	88.18		12:10:13.17	2026.91	385.86		12:14:55.76	2937.55
78	11:45:22.03	915.18	912.50	11:56:44.67		95.80	49.61		12:10:13.06	105.83	63.91		12:14:55.65	138.34
79	11:45:21.92	1831.73	1802.82	11:56:44.56		478.32	222.99		12:10:12.95	15.85	7.34		12:14:55.54	75.43
80	11:45:21.81	2204.67	1278.16	11:56:44.45		2009.33	1216.71		12:10:12.84	15.77	36.82		12:14:55.43	17.15
81	11:45:21.70	959.73	186.66	11:56:44.34		1825.44	1092.22		12:10:12.73	510.89	293.87		12:14:55.32	59.54
82	11:45:21.59	18.98	5.85	11:56:44.23		2010.13	1063.94		12:10:12.62	2007.89	1235.88		12:14:55.21	52.67
83	11:45:21.48	828.82	303.72	11:56:44.12		868.89	431.85		12:10:12.51	2172.98	1024.68		12:14:55.10	1997.17
84	11:45:21.37	1869.96	958.40	11:56:44.01		18.35	72.99		12:10:12.40	970.88	541.59		12:14:54.99	1883.99
85	11:45:21.26	1902.11	864.71	11:56:43.90		87.88	39.89		12:10:12.29	83.19	45.42		12:14:54.88	2060.95
86	11:45:21.15	1841.95	882.81	11:56:43.79		82.87	45.91		12:10:12.18	82.23	40.89		12:14:54.77	2161.77
87	11:45:21.04	843.45	548.54	11:56:43.68		15.60	15.36		12:10:12.07	109.16	68.70		12:14:54.66	894.85
88	11:45:20.93	84.21	566.86	11:56:43.57		15.21	14.89		12:10:11.96	189.80	60.29		12:14:54.55	92.85

3.2.2. *Técnicas de Medición de la Eficiencia de Frenado*

Para conocer la información de cada pastilla de freno se ha colocado los Arduinos y sensor de presión en las mordazas delanteras y posteriores; así como los Arduinos y las termopares en las pastillas delanteras y posteriores respectivamente.

Durante las pruebas se ha procedido a:

- a. Instalar las pastillas a usar en las pruebas.
- b. Instalar y configurar los arduinos para la obtención de datos.
- c. Se ubica al vehículo en posición neutral sobre la pista y se toma la medición de temperatura del suelo, la presión en llantas y se comprueba que los datos recolectados del Arduino se están recolectando de manera correcta.
- d. Se procede a revisar las ruedas para evitar el contacto de los cables que transmiten la señal del Arduino a los ordenadores portátiles.

3.2.3. *Factores Determinantes*

- a. En la realización de las pruebas en la pista del autódromo se realizó la respectiva limpieza.
- b. Presión de los neumáticos por igual.
- c. Cambio de pastillas:
 - Embarcar el vehículo.
 - Desmontar las llantas.
 - Desajustar los pernos de los pasadores deslizantes del caliper.
 - Desmontar el caliper.
 - Proceder al cambio de pastilla.
 - Volver a ensamblar las piezas.
- d. Recorrido de acoplamiento de la nueva pastilla.
- e. Temperatura ambiente.

- f. Obtención de la información de forma correcta que permita analizar los datos en lo posterior.

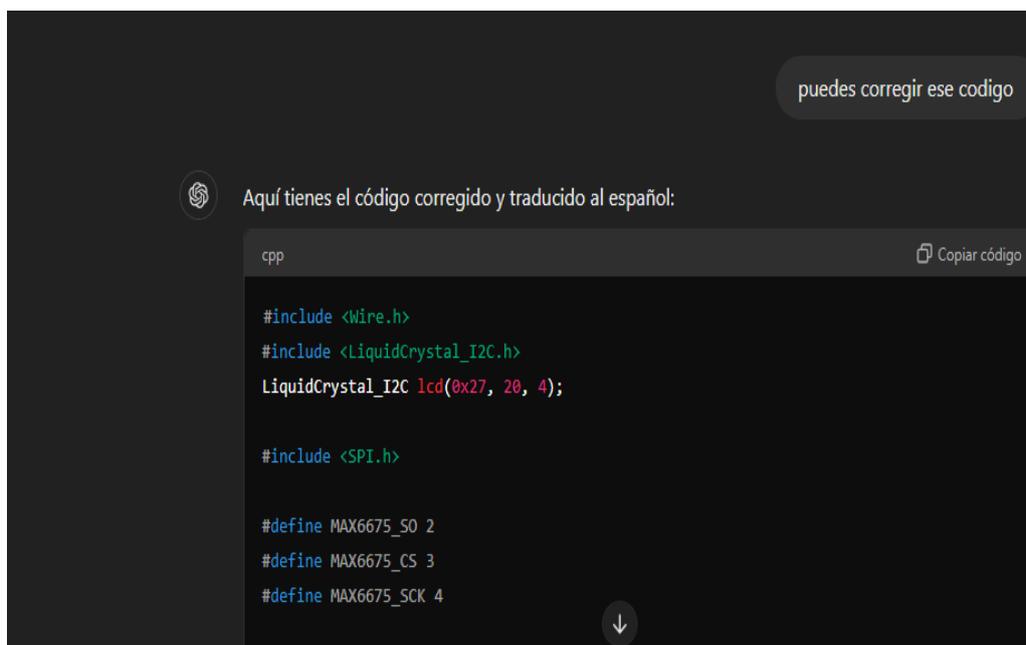
3.3. Diseño de Códigos de Programación de Arduino con Asistencia de la IA

Para el desarrollo de los códigos de programación de los Arduinos se utilizaron códigos base que se encuentran disponibles en la web por foros o páginas que se dedican al desarrollo de los Arduino, como por ejemplo Talos Electronic (Lozano, 2020). Estos códigos fueron adaptados a las necesidades del proyecto y con la ayuda de la Inteligencia artificial, la cual es un sistema desarrollado por OpenAI.

La primera modificación realizada con el código base fue la de encontrar y corregir el error en los códigos ya que estos presentaban inconvenientes durante la ejecución de la programación a la placa, luego de esto se solicitó a la AI traducir los códigos al español, manteniendo la misma programación, esto se realizó para una mejor interpretación del código de Arduino.

Figura 45

Solicitud a AI de Corrección y Traducción del Código



puedes corregir ese código

Aquí tienes el código corregido y traducido al español:

```
cpp Copiar código

#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 20, 4);

#include <SPI.h>

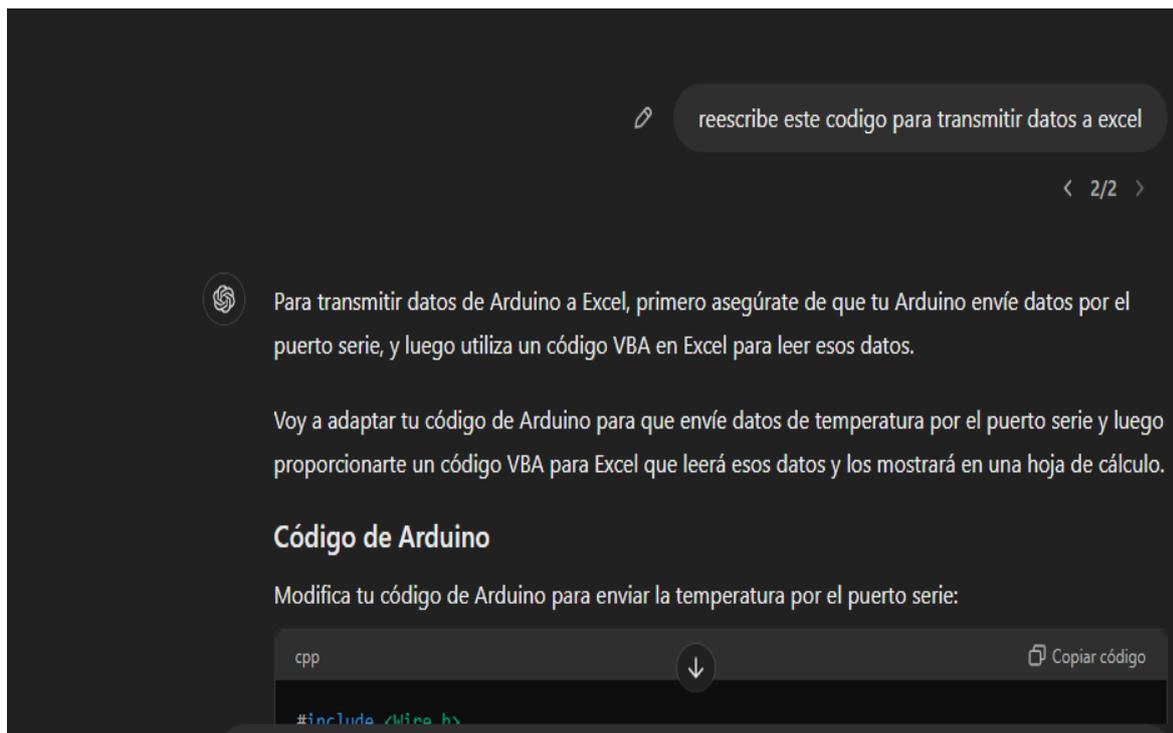
#define MAX6675_S0 2
#define MAX6675_CS 3
#define MAX6675_SCK 4
```

Durante la puesta a prueba del código de programación, el programa Arduino acepto el código y el sensor de temperatura comenzó a detectar los cambios de temperatura del ambiente, confirmando que el código estaba listo para ser usado. En el caso del sensor de presión, la placa tomaba las lecturas del sensor, pero no eran las correctas ya que el código requería de la configuración de los valores y características de lectura del sensor de presión

Luego se solicitó a AI que el mismo código lo adapte para poder transmitir los datos recolectados al programa Excel; el mismo que cuenta con programación para adquisición de datos en vivo. También se solicitó a AI los pasos a seguir para activar la configuración de recepción de datos en vivo a Excel.

Figura 46

Petición de Adaptación de Código para Transmitir Datos a Excel



The screenshot shows a chat interface with a dark background. At the top right, there is a search bar containing the text "reescribe este codigo para transmitir datos a excel". Below the search bar, there is a navigation indicator "< 2/2 >". The main content area features a circular icon on the left and text on the right. The text reads: "Para transmitir datos de Arduino a Excel, primero asegúrate de que tu Arduino envíe datos por el puerto serie, y luego utiliza un código VBA en Excel para leer esos datos." Below this, it says: "Voy a adaptar tu código de Arduino para que envíe datos de temperatura por el puerto serie y luego proporcionarte un código VBA para Excel que leerá esos datos y los mostrará en una hoja de cálculo." The section is titled "Código de Arduino" and includes the instruction: "Modifica tu código de Arduino para enviar la temperatura por el puerto serie:". At the bottom, there is a code editor with a "cpp" language selector, a "Copiar código" button, and a dropdown arrow. The code visible in the editor is "#include <Wire.h>".

Capítulo IV

Análisis de los resultados

4.1. Obtención de los Datos de Resultados

Durante la realización de las pruebas se aseguró la calibración de los sensores de presión y temperatura; así mismo, también se verificó la exactitud del sensor acelerómetro para que las muestras posean el mayor margen de precisión

En la pista se estableció un punto de partida, seguido de un punto de aplicación del freno de emergencia y con una zona la cual permitía tomar la medición de la distancia que recorría el vehículo desde el punto de inicio del frenado hasta su punto de pare total.

Para evitar alteraciones en el muestreo se siguieron las indicaciones en las normas SAE, que detallan el proceso para la obtención de datos y que precauciones se deben tener a la hora de frenar el vehículo.

La metodología de experimentación utilizada durante la realización de este proyecto permitió identificar con mayor claridad que las características de las pastillas influyen significativamente en el rendimiento dinámico del vehículo y esto facilitó llegar a conclusiones más robustas y confiables.

Los datos obtenidos se guardaron en un documento en Excel para poder ser organizados en tablas, las cuales son presentadas en el presente documento

4.1.1. Resultados Pastillas OEM, OE y IAM sin y con Carga

El vehículo de prueba fue equipado con las pastillas siguiendo las recomendaciones del manual de reparaciones de la marca Hyundai, teniendo en cuenta los torques especificados en dicho manual.

Los resultados obtenidos son los siguientes:

Tabla 9*Resultados de Prueba 1 sin Carga - OEM*

OEM PRUEBA 1 - SIN CARGA	
Inicio de frenado	11:45:20,71
Fin de frenado	11:45:22,69
Tiempo de frenado	0:00:01,98
Velocidad al aplicar freno	90,00 km/h
Distancia de frenado	24,76 m
Temperatura ambiente	32 °C
Temperatura piso	38 °C
Temperatura pastilla delantera más alta registrada	75,23 °C
Temperatura pastilla posterior más alta registrada	68,56 °C
Presión máximo mordaza delantera	2204,67 Psi
Presión máximo mordaza posterior	1278,16 Psi

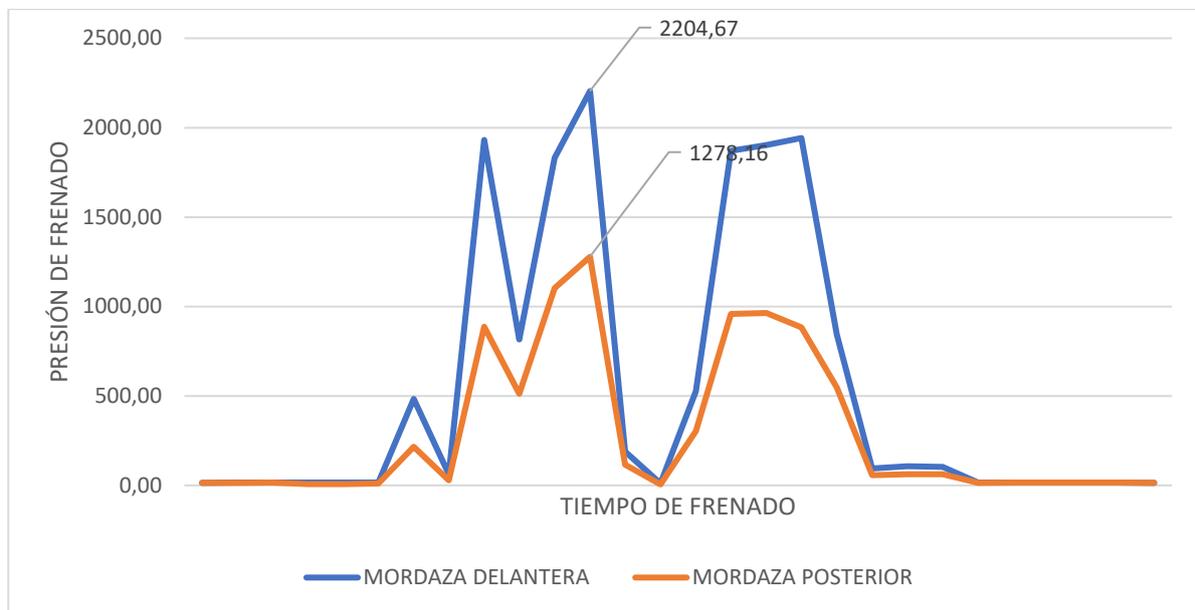


Tabla 10*Resultados de Prueba 2 sin carga - OEM*

OEM PRUEBA 2 - SIN CARGA	
Inicio de frenado	11:56:43,79
Fin de frenado	11:56:45,55
Tiempo de frenado	0:00:01,76
Velocidad al aplicar freno	90,00 km/h
Distancia de frenado	22,03 m
Temperatura ambiente	32 °C
Temperatura piso	38 °C
Temperatura pastilla delantera más alta registrada	75,89 °C
Temperatura pastilla posterior más alta registrada	69,01 °C
Presión máximo mordaza delantera	2205,65 Psi
Presión máximo mordaza posterior	1354,72 Psi

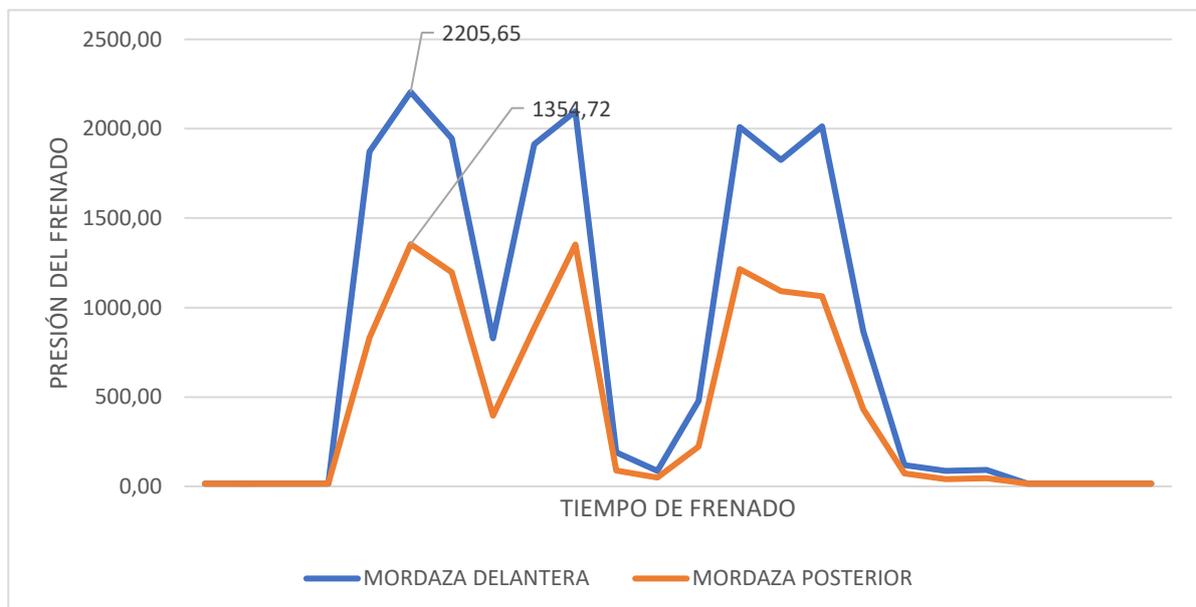


Tabla 11*Resultados de Prueba 3 sin Carga - OEM*

OEM PRUEBA 3 - SIN CARGA	
Inicio de frenado	12:10:11,85
Fin de frenado	12:10:13,94
Tiempo de frenado	0:00:02,09
Velocidad al aplicar freno	90,00 km/h
Distancia de frenado	26,14 m
Temperatura ambiente	32 °C
Temperatura piso	38 °C
Temperatura pastilla delantera más alta registrada	76,42 °C
Temperatura pastilla posterior más alta registrada	70,11 °C
Presión máximo mordaza delantera	2172,36 Psi
Presión máximo mordaza posterior	1236,88 Psi

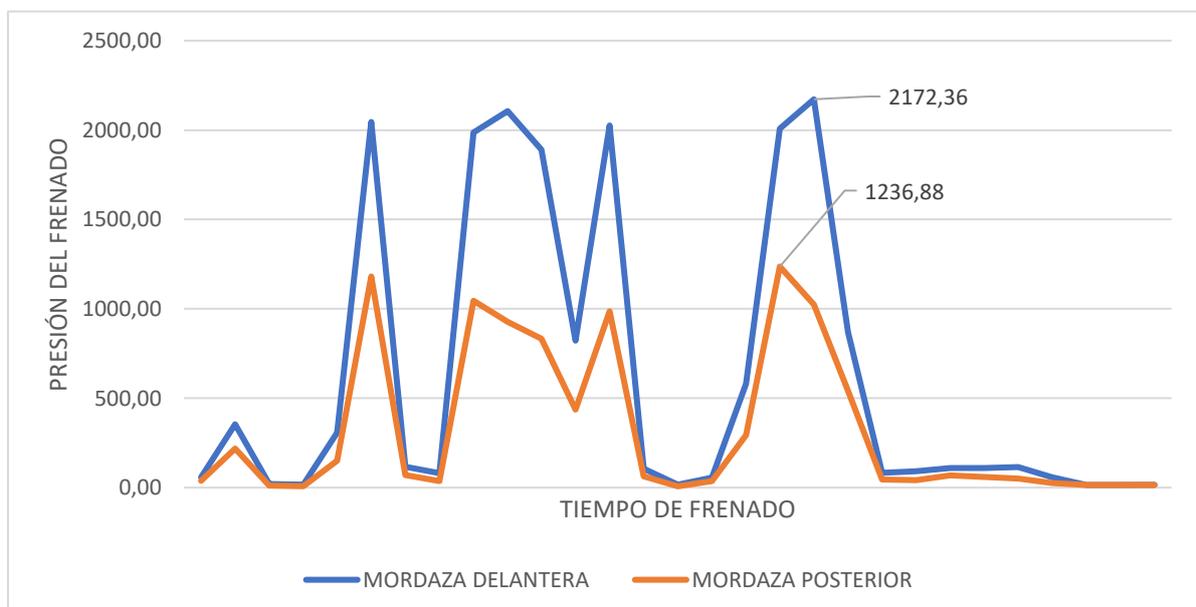


Tabla 12*Resultados de Prueba 4 sin Carga - OEM*

OEM PRUEBA 4 - SIN CARGA	
Inicio de frenado	12:14:54,44
Fin de frenado	12:14:56,31
Tiempo de frenado	0:00:01,87
Velocidad al aplicar freno	90,00 km/h
Distancia de frenado	23,38 m
Temperatura ambiente	32 °C
Temperatura piso	38 °C
Temperatura pastilla delantera más alta registrada	77,06 °C
Temperatura pastilla posterior más alta registrada	70,89 °C
Presión máximo mordaza delantera	2206,94 Psi
Presión máximo mordaza posterior	1426,18 Psi

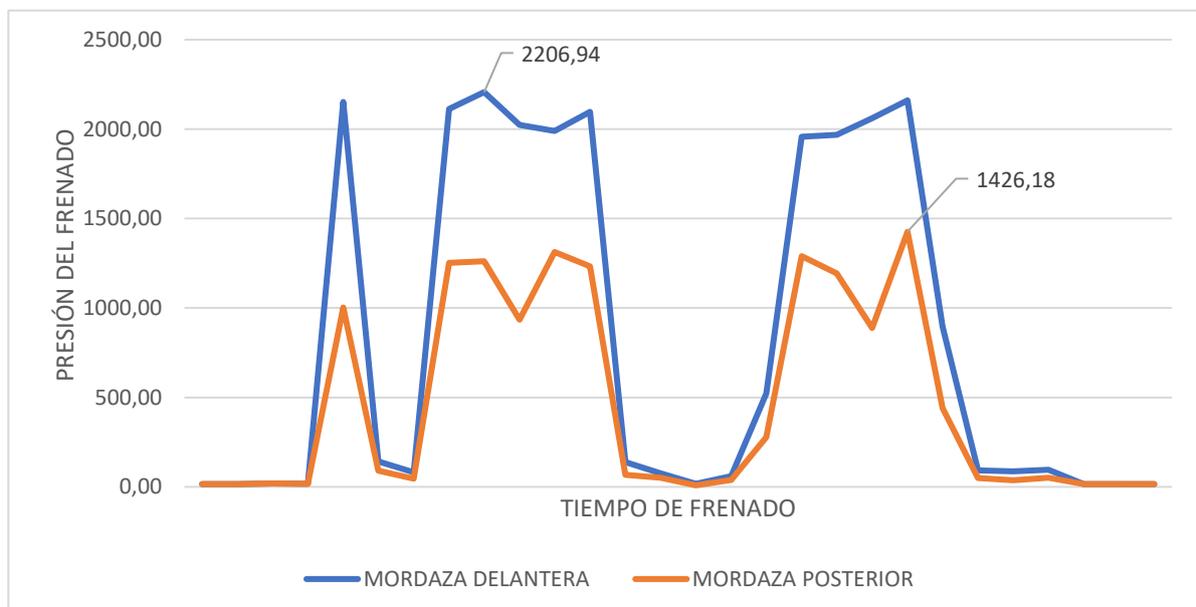


Tabla 13*Resultados de Prueba 5 sin Carga - OEM*

OEM PRUEBA 5 - SIN CARGA	
Inicio de frenado	12:24:37,71
Fin de frenado	12:24:40,02
Tiempo de frenado	0:00:02,31
Velocidad al aplicar freno	90,00 km/h
Distancia de frenado	28,85 m
Temperatura ambiente	34 °C
Temperatura piso	39 °C
Temperatura pastilla delantera más alta registrada	77,82 °C
Temperatura pastilla posterior más alta registrada	72,56 °C
Presión máximo mordaza delantera	2159,46 Psi
Presión máximo mordaza posterior	1352,50 Psi

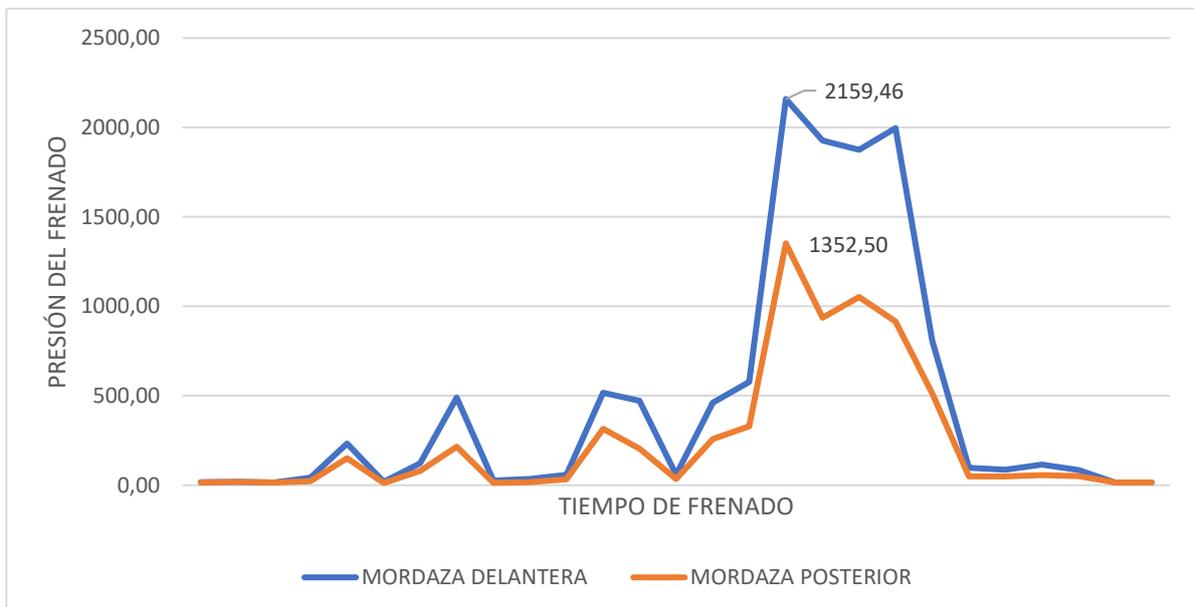


Tabla 14*Resultados de Prueba 1 con Carga - OEM*

OEM PRUEBA 1 - CON CARGA	
Inicio de frenado	12:44:42,02
Fin de frenado	12:44:44,55
Tiempo de frenado	0:00:02,53
Velocidad al aplicar freno	90,00 km/h
Distancia de frenado	31,62 m
Temperatura ambiente	34 °C
Temperatura piso	39 °C
Temperatura pastilla delantera más alta registrada	79,12 °C
Temperatura pastilla posterior más alta registrada	74,11 °C
Presión máximo mordaza delantera	2219,58 Psi
Presión máximo mordaza posterior	1374,91 Psi

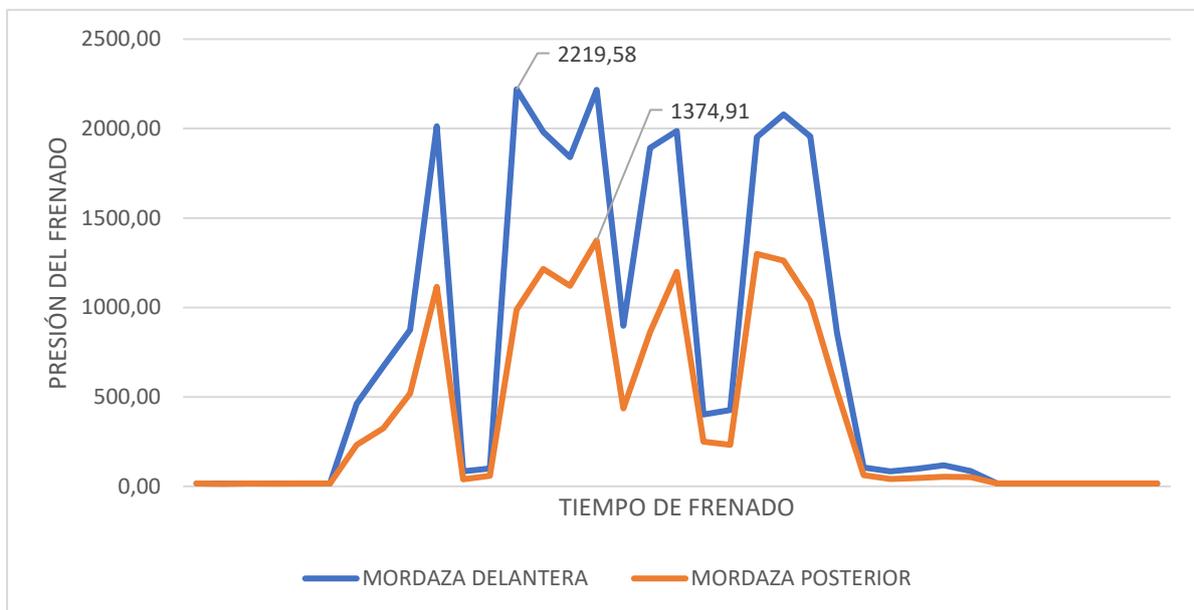


Tabla 15*Resultados de Prueba 2 con Carga - OEM*

OEM PRUEBA 2 - CON CARGA	
Inicio de frenado	12:55:22,56
Fin de frenado	12:55:25,42
Tiempo de frenado	0:00:02,86
Velocidad al aplicar freno	90,00 km/h
Distancia de frenado	35,77 m
Temperatura ambiente	34 °C
Temperatura piso	39 °C
Temperatura pastilla delantera más alta registrada	79,96 °C
Temperatura pastilla posterior más alta registrada	75,67 °C
Presión máximo mordaza delantera	2178,24 Psi
Presión máximo mordaza posterior	1374,73 Psi

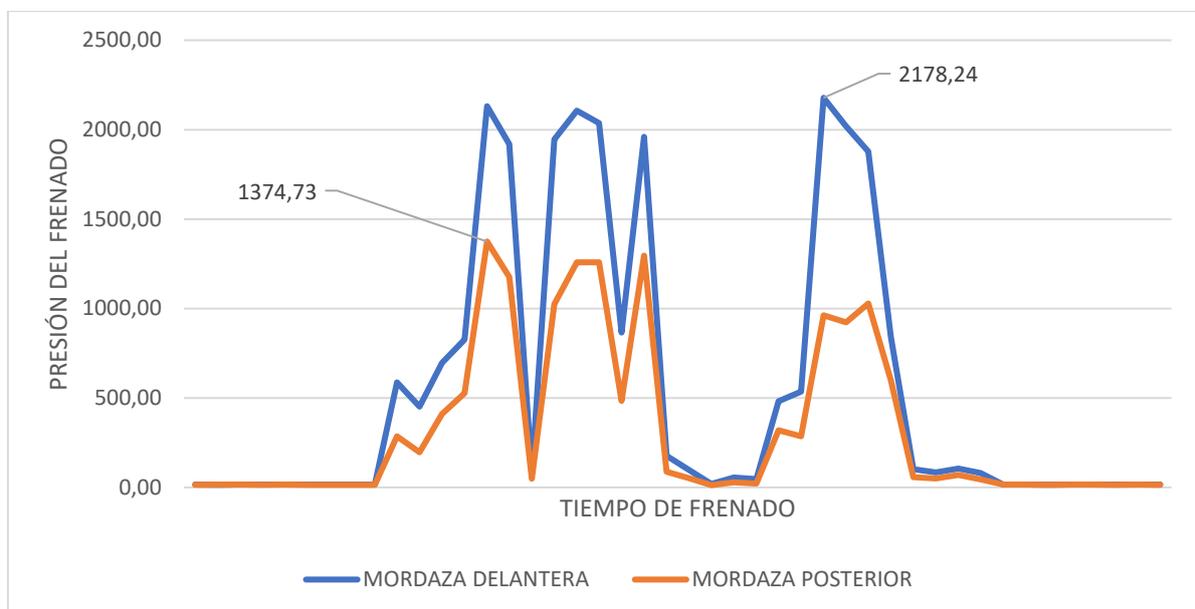


Tabla 16*Resultado de Prueba 3 con Carga - OEM*

OEM PRUEBA 3 - CON CARGA	
Inicio de frenado	12:58:35,43
Fin de frenado	12:58:38,18
Tiempo de frenado	0:00:02,75
Velocidad al aplicar freno	90,00 km/h
Distancia de frenado	34,39 m
Temperatura ambiente	35 °C
Temperatura piso	40 °C
Temperatura pastilla delantera más alta registrada	82,05 °C
Temperatura pastilla posterior más alta registrada	77,93 °C
Presión máximo mordaza delantera	2221,92 Psi
Presión máximo mordaza posterior	1941,92 Psi

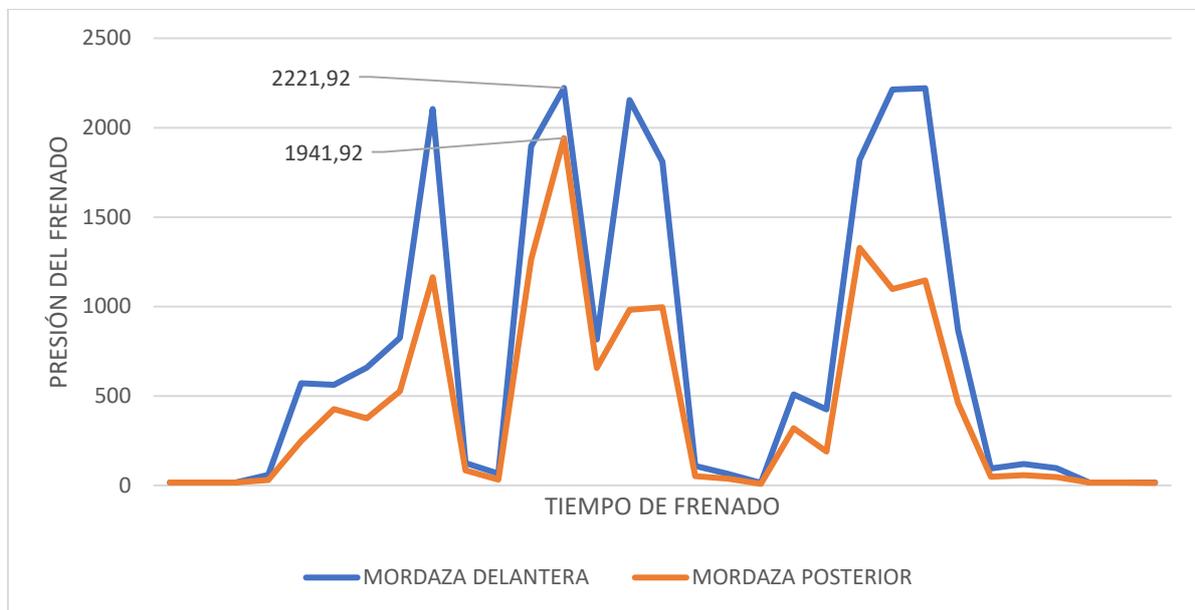


Tabla 17*Resultados de Prueba 4 con Carga - OEM*

OEM PRUEBA 4 - CON CARGA	
Inicio de frenado	13:10:12,45
Fin de frenado	13:10:14,87
Tiempo de frenado	0:00:02,42
Velocidad al aplicar freno	90,00 km/h
Distancia de frenado	30,26 m
Temperatura ambiente	35 °C
Temperatura piso	40 °C
Temperatura pastilla delantera más alta registrada	84,68 °C
Temperatura pastilla posterior más alta registrada	79,29 °C
Presión máximo mordaza delantera	2187,56 Psi
Presión máximo mordaza posterior	1556,66 Psi

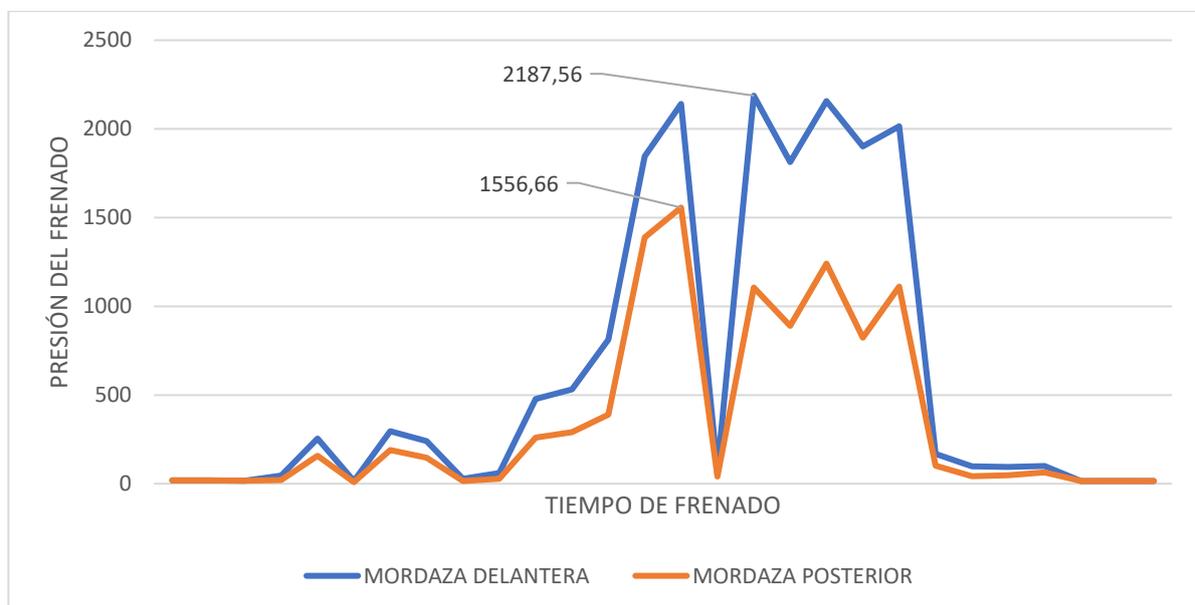


Tabla 18*Resultados de Prueba 5 con Carga – OEM*

OEM PRUEBA 5 – CON CARGA	
Inicio de frenado	13:15:04,93
Fin de frenado	13:15:07,57
Tiempo de frenado	0:00:02,64
Velocidad al aplicar freno	90,00 km/h
Distancia de frenado	32,99 m
Temperatura ambiente	34 °C
Temperatura piso	39 °C
Temperatura pastilla delantera más alta registrada	91,74 °C
Temperatura pastilla posterior más alta registrada	82,59 °C
Presión máximo mordaza delantera	2179,58 Psi
Presión máximo mordaza posterior	1363,29 Psi

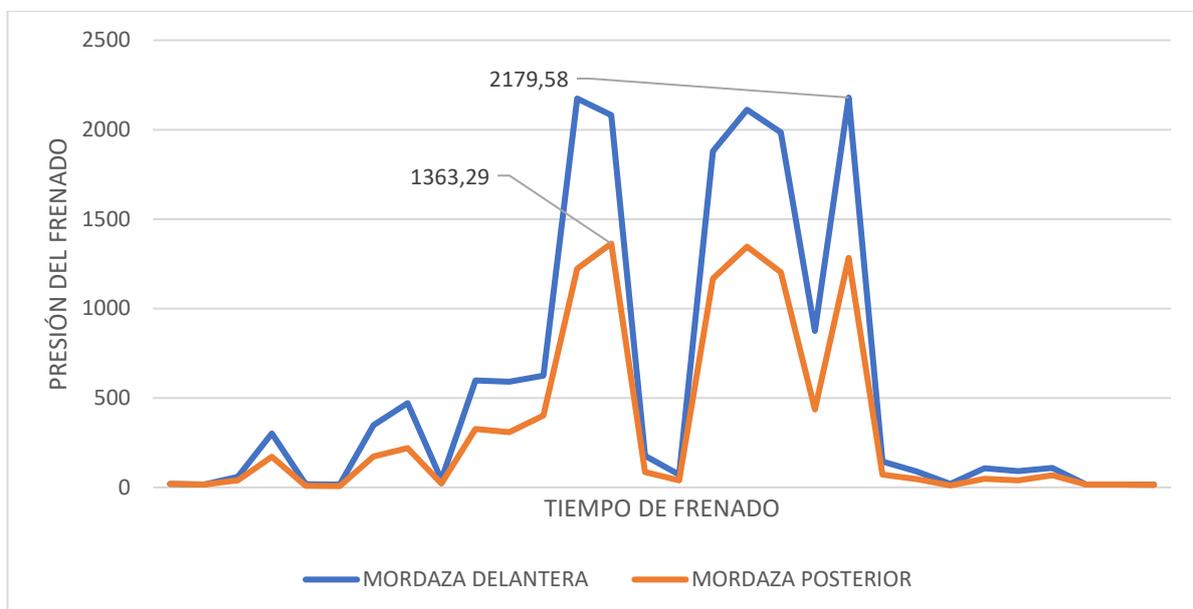


Tabla 19*Resultados Prueba 1 sin Carga - OE*

OE PRUEBA 1 - SIN CARGA	
Inicio de frenado	14:16:25,55
Fin de frenado	14:16:27,75
Tiempo de frenado	0:00:02,20
Velocidad al aplicar freno	90,00 km/h
Distancia de frenado	27,05 m
Temperatura ambiente	34 °C
Temperatura piso	39 °C
Temperatura pastilla delantera más alta registrada	69,52 °C
Temperatura pastilla posterior más alta registrada	56,81 °C
Presión máximo mordaza delantera	2218,70 Psi
Presión máximo mordaza posterior	1423,53 Psi

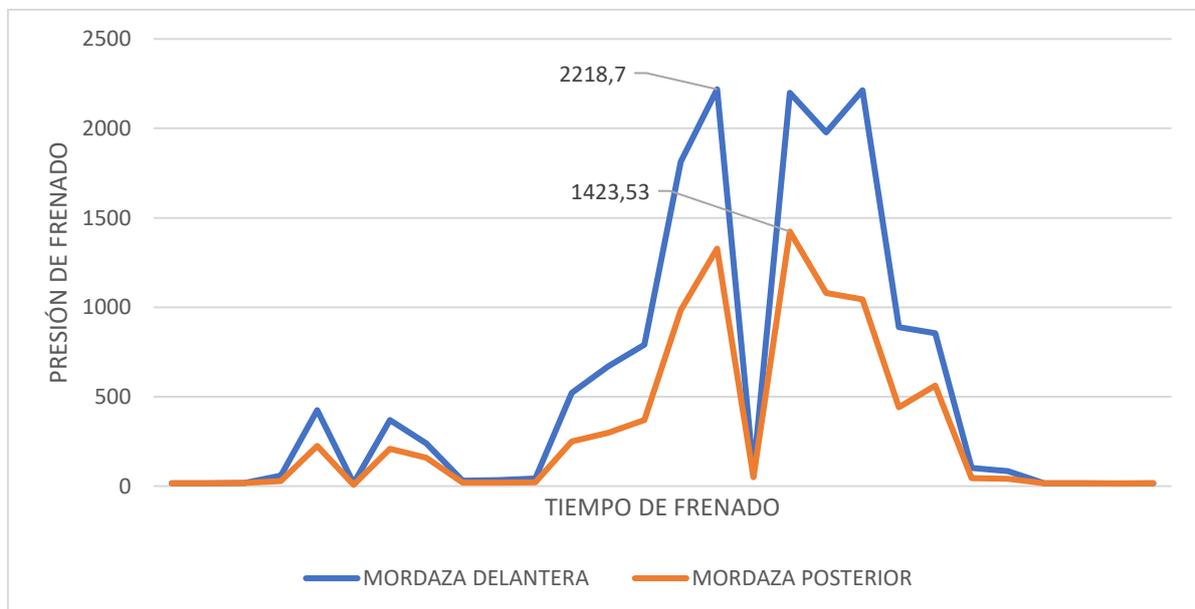


Tabla 20*Resultados Prueba 2 sin Carga - OE*

OE PRUEBA 2 - SIN CARGA	
Inicio de frenado	14:24:47,08
Fin de frenado	14:24:49,39
Tiempo de frenado	0:00:02,31
Velocidad al aplicar freno	90,00 km/h
Distancia de frenado	28,85 m
Temperatura ambiente	34 °C
Temperatura piso	39 °C
Temperatura pastilla delantera más alta registrada	75,04 °C
Temperatura pastilla posterior más alta registrada	59,63 °C
Presión máximo mordaza delantera	2184,78 Psi
Presión máximo mordaza posterior	1310,10 Psi

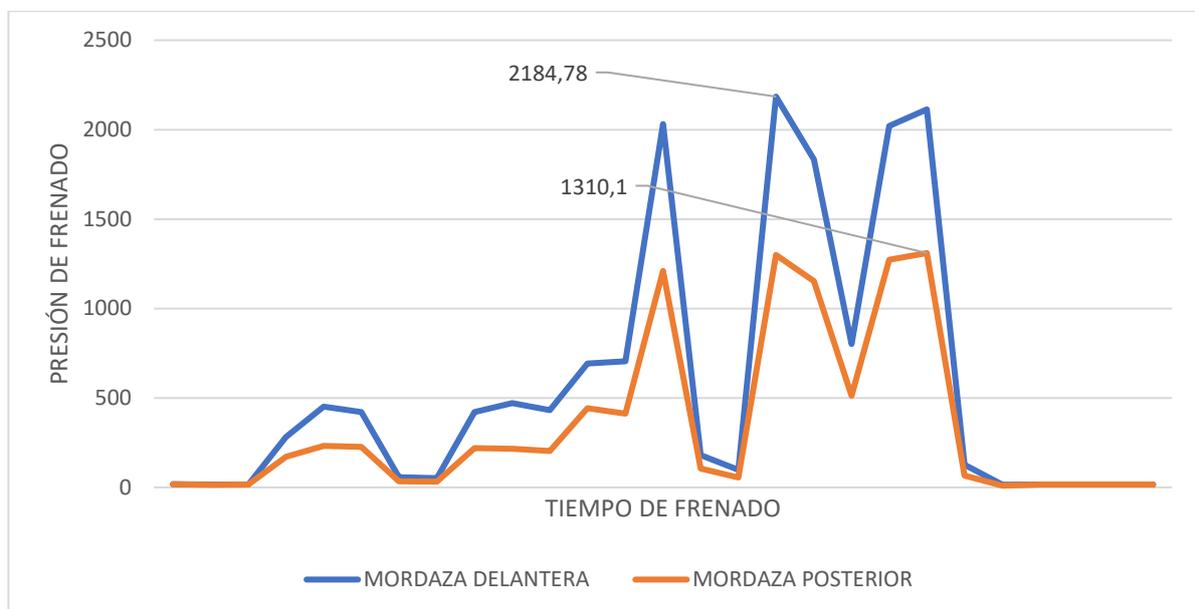


Tabla 21*Resultados Prueba 3 sin Carga - OE*

OE PRUEBA 3 - SIN CARGA	
Inicio de frenado	14:30:22,19
Fin de frenado	14:30:24,61
Tiempo de frenado	0:00:02,42
Velocidad al aplicar freno	90,00 km/h
Distancia de frenado	30,26 m
Temperatura ambiente	34 °C
Temperatura piso	39 °C
Temperatura pastilla delantera más alta registrada	78,11 °C
Temperatura pastilla posterior más alta registrada	67,88 °C
Presión máximo mordaza delantera	2193,50 Psi
Presión máximo mordaza posterior	1297,98 Psi

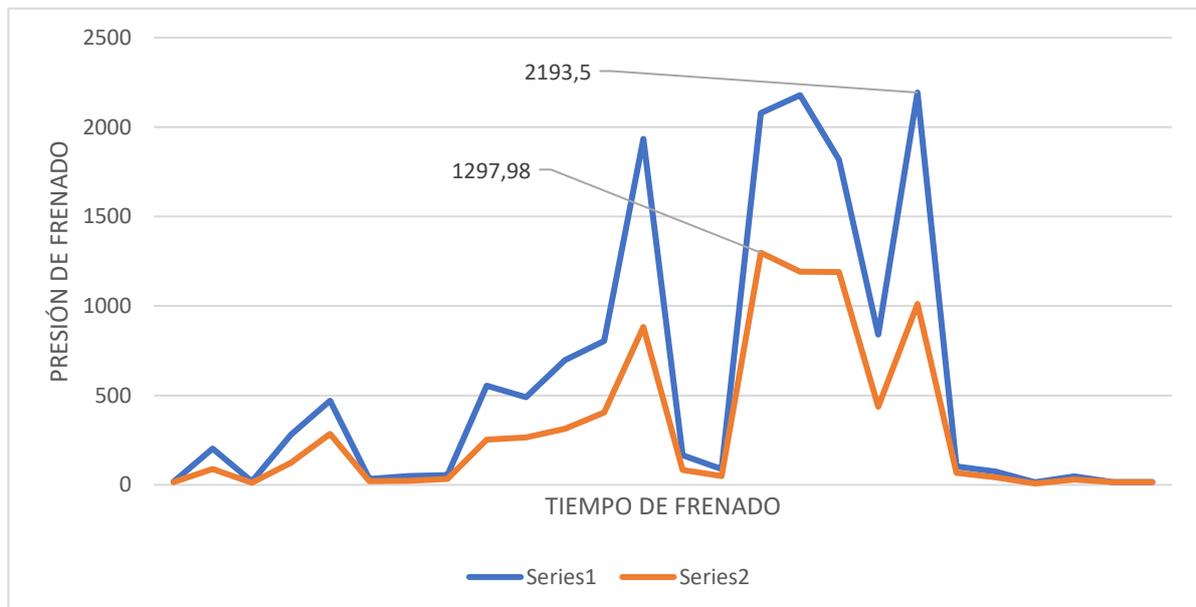


Tabla 22*Resultados Prueba sin Carga - OE*

OE PRUEBA 4 - SIN CARGA	
Inicio de frenado	14:39:10,58
Fin de frenado	14:39:12,67
Tiempo de frenado	0:00:02,09
Velocidad al aplicar freno	90,00 km/h
Distancia de frenado	26,14 m
Temperatura ambiente	34 °C
Temperatura piso	39 °C
Temperatura pastilla delantera más alta registrada	89,51 °C
Temperatura pastilla posterior más alta registrada	75,22 °C
Presión máximo mordaza delantera	2203,69 Psi
Presión máximo mordaza posterior	1216,61 Psi

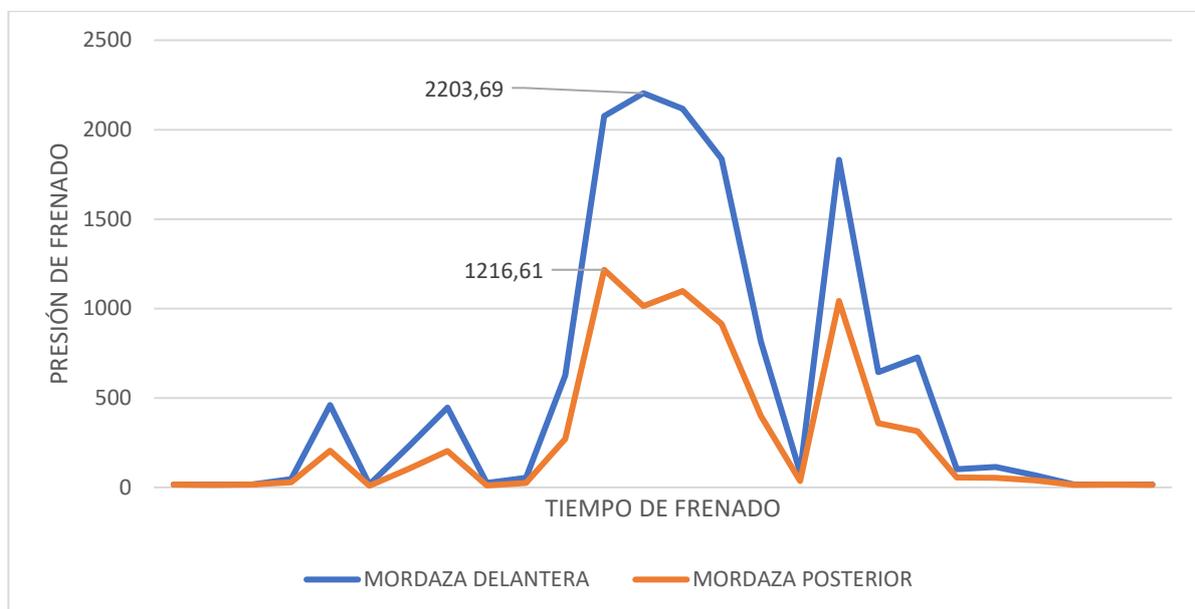


Tabla 23*Resultados de Prueba 5 sin Carga - OE*

OE PRUEBA 5 - SIN CARGA	
Inicio de frenado	14:43:46,03
Fin de frenado	14:43:48,34
Tiempo de frenado	0:00:02,31
Velocidad al aplicar freno	90,00 km/h
Distancia de frenado	28,85 m
Temperatura ambiente	34 °C
Temperatura piso	39 °C
Temperatura pastilla delantera más alta registrada	96,45 °C
Temperatura pastilla posterior más alta registrada	83,49 °C
Presión máximo mordaza delantera	2214,20 Psi
Presión máximo mordaza posterior	1188,93 Psi

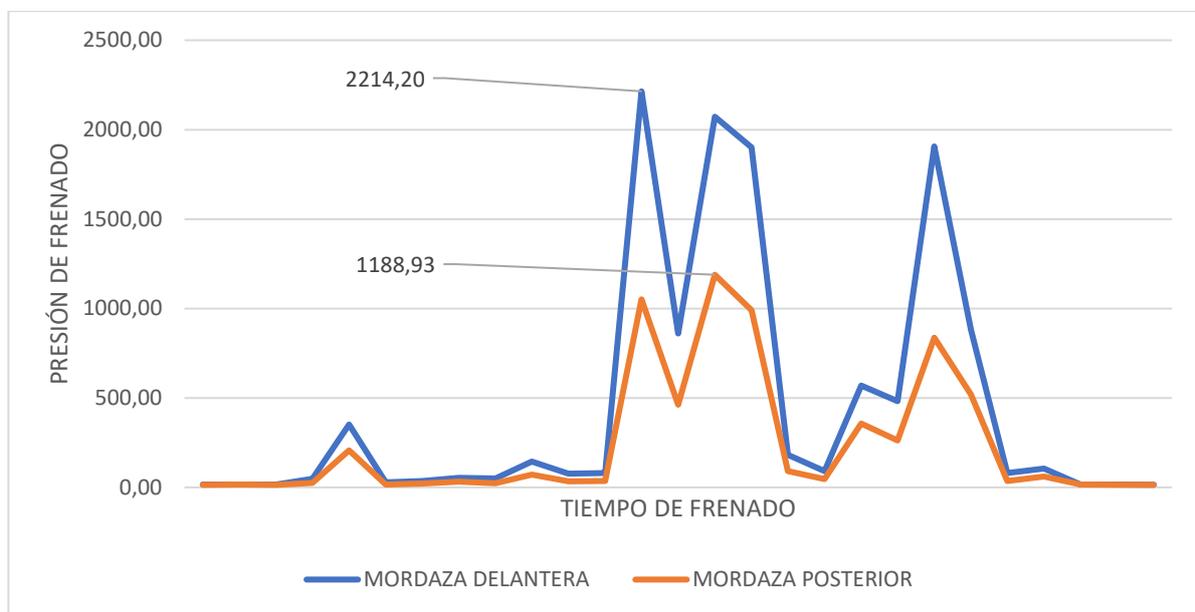


Tabla 24*Resultados de Prueba 1 con Carga - OE*

OE PRUEBA 1 - CON CARGA	
Inicio de frenado	14:54:33,67
Fin de frenado	14:54:36,53
Tiempo de frenado	0:00:02,86
Velocidad al aplicar freno	90,00 km/h
Distancia de frenado	35,77 m
Temperatura ambiente	32 °C
Temperatura piso	38 °C
Temperatura pastilla delantera más alta registrada	101,23 °C
Temperatura pastilla posterior más alta registrada	92,33 °C
Presión máximo mordaza delantera	2009,10 Psi
Presión máximo mordaza posterior	1770,59 Psi

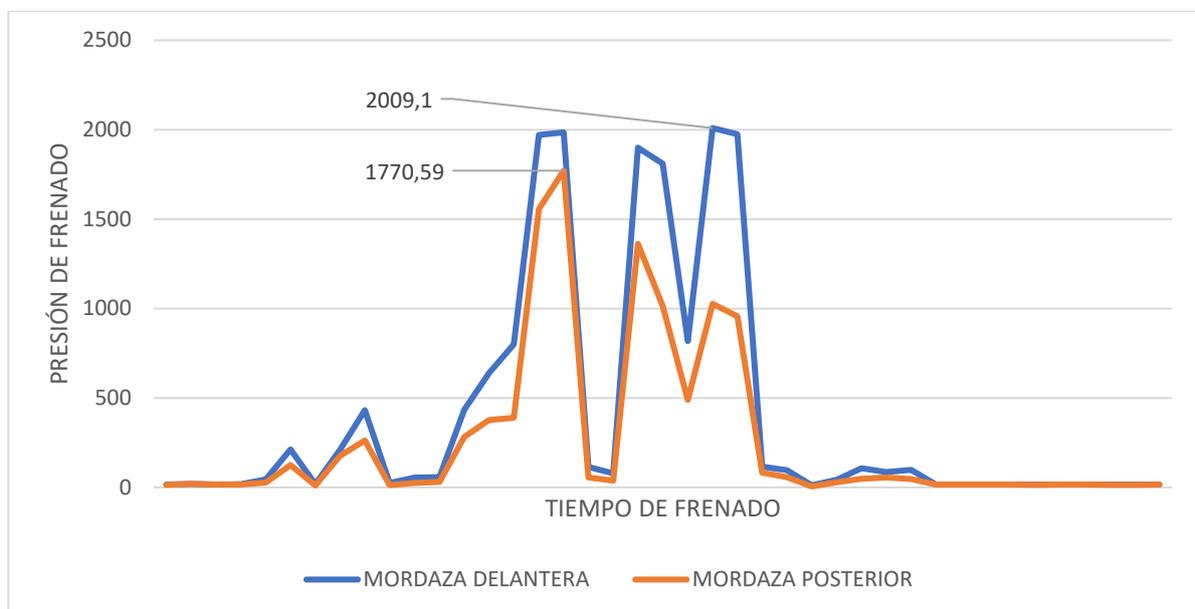


Tabla 25*Resultados de Prueba 2 con Carga - OE*

OE PRUEBA 2 - CON CARGA	
Inicio de frenado	15:09:54,08
Fin de frenado	15:09:56,61
Tiempo de frenado	0:00:02,53
Velocidad al aplicar freno	90,00 km/h
Distancia de frenado	31,02 m
Temperatura ambiente	32 °C
Temperatura piso	38 °C
Temperatura pastilla delantera más alta registrada	121,49 °C
Temperatura pastilla posterior más alta registrada	98,22 °C
Presión máximo mordaza delantera	2218,10 Psi
Presión máximo mordaza posterior	1478,58 Psi

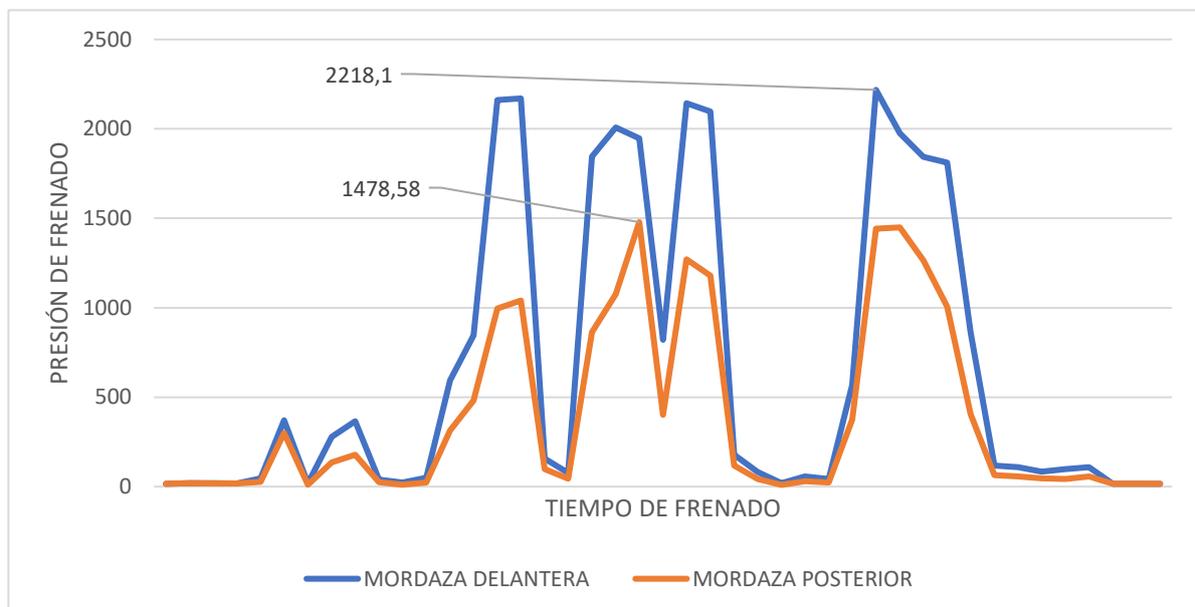


Tabla 26*Resultados de Prueba 3 con Carga - OE*

OE PRUEBA 3 - CON CARGA	
Inicio de frenado	15:24:38,46
Fin de frenado	15:24:41,10
Tiempo de frenado	0:00:02,64
Velocidad al aplicar freno	90,00 km/h
Distancia de frenado	32,99 m
Temperatura ambiente	32 °C
Temperatura piso	38 °C
Temperatura pastilla delantera más alta registrada	134,20 °C
Temperatura pastilla posterior más alta registrada	104,96 °C
Presión máximo mordaza delantera	2205,96 Psi
Presión máximo mordaza posterior	1681,29 Psi

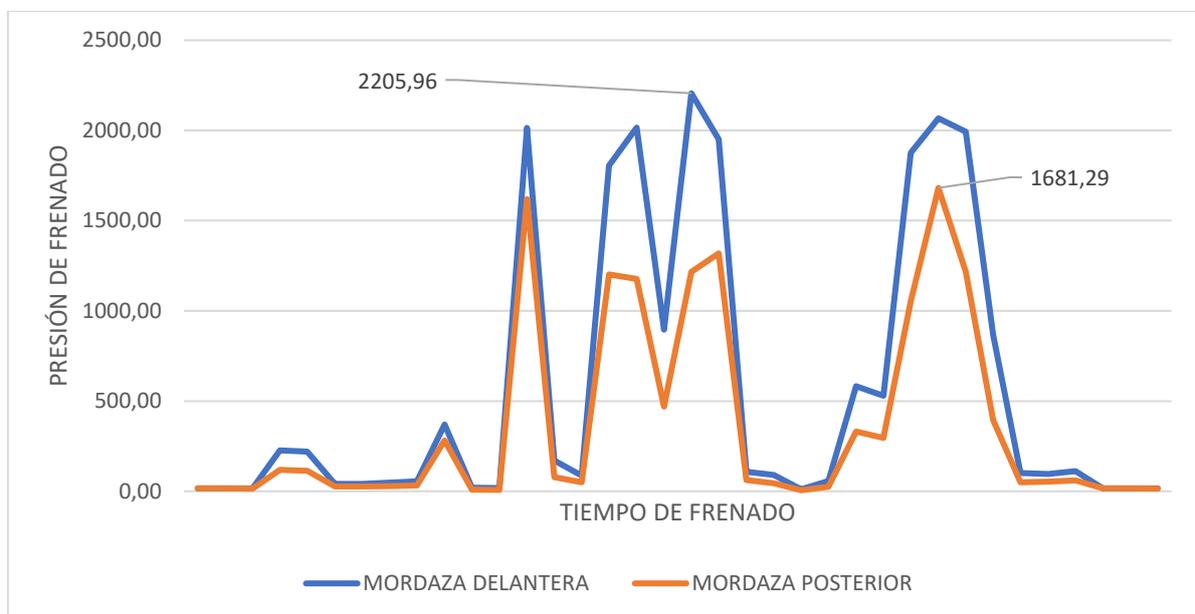


Tabla 27*Resultados Prueba 4 con Carga - OE*

OE PRUEBA 4 - CON CARGA	
Inicio de frenado	15:35:14,29
Fin de frenado	15:35:17,04
Tiempo de frenado	0:00:02,75
Velocidad al aplicar freno	90,00 km/h
Distancia de frenado	34,39 m
Temperatura ambiente	31 °C
Temperatura piso	37 °C
Temperatura pastilla delantera más alta registrada	152,42 °C
Temperatura pastilla posterior más alta registrada	134,01 °C
Presión máximo mordaza delantera	2205,81 Psi
Presión máximo mordaza posterior	1351,36 Psi

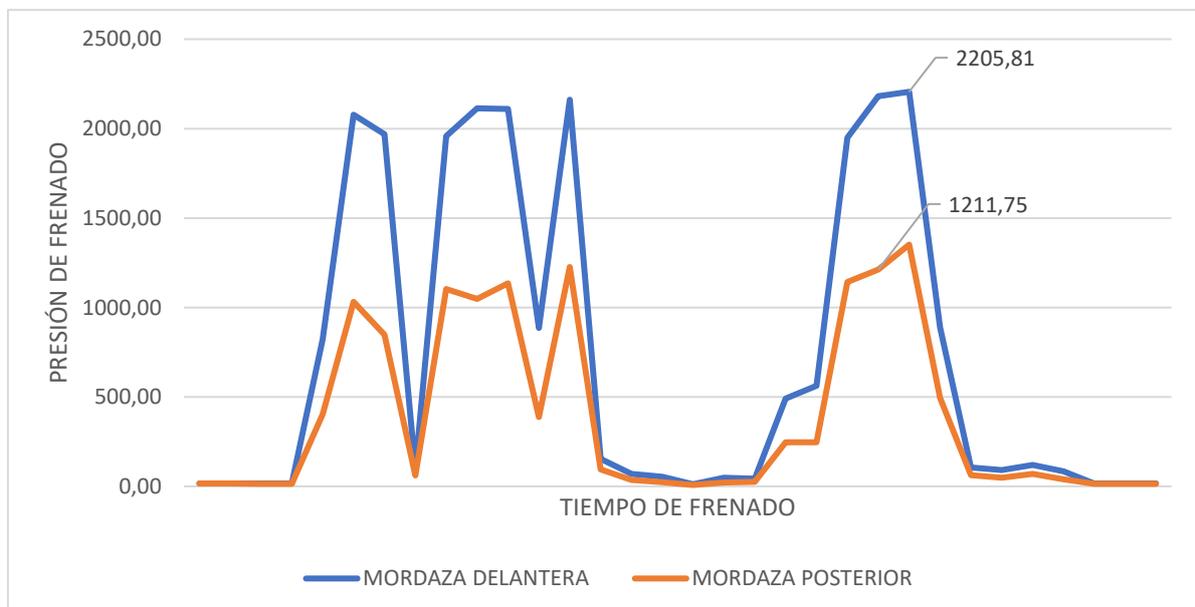


Tabla 28*Resultados Prueba 5 con Carga - OE*

OE PRUEBA 5 - CON CARGA	
Inicio de frenado	15:47:52,68
Fin de frenado	15:47:55,21
Tiempo de frenado	0:00:02,53
Velocidad al aplicar freno	90,00 km/h
Distancia de frenado	31,62 m
Temperatura ambiente	31 °C
Temperatura piso	37 °C
Temperatura pastilla delantera más alta registrada	168,78 °C
Temperatura pastilla posterior más alta registrada	155,32 °C
Presión máximo mordaza delantera	2143,71 Psi
Presión máximo mordaza posterior	1768,17 Psi

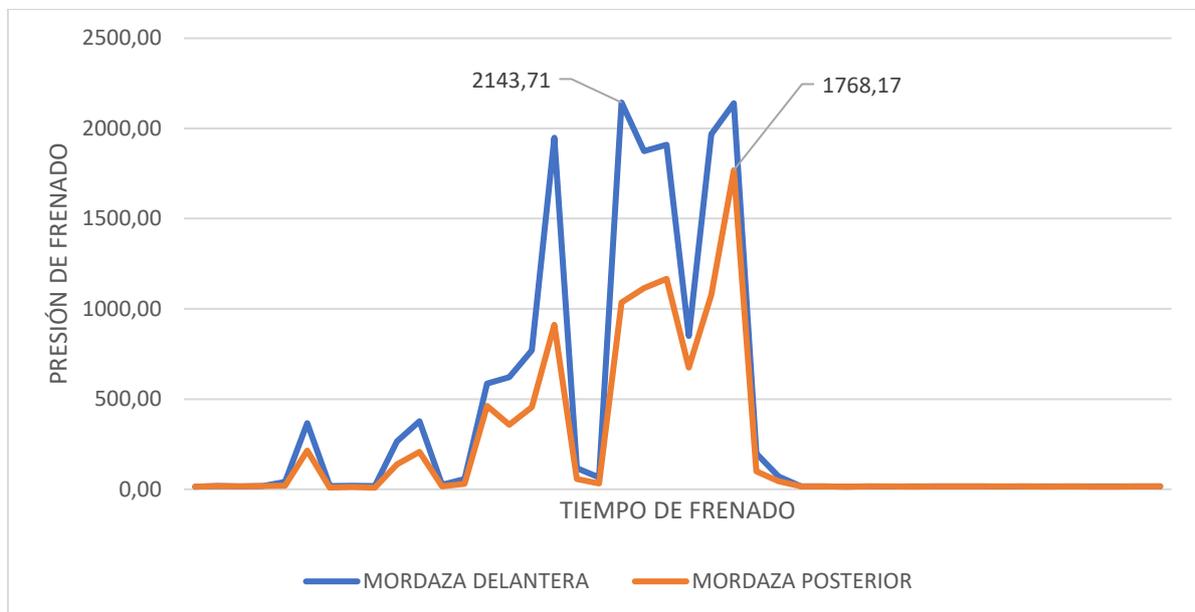


Tabla 29*Resultados Prueba 1 sin Carga - IAM*

IAM PRUEBA 1 - SIN CARGA	
Inicio de frenado	17:30:05,67
Fin de frenado	17:30:07,98
Tiempo de frenado	0:00:02,31
Velocidad al aplicar freno	90,00 km/h
Distancia de frenado	28,85 m
Temperatura ambiente	30 °C
Temperatura piso	36 °C
Temperatura pastilla delantera más alta registrada	63,88 °C
Temperatura pastilla posterior más alta registrada	56,12 °C
Presión máximo mordaza delantera	2190,55 Psi
Presión máximo mordaza posterior	1376,17 Psi

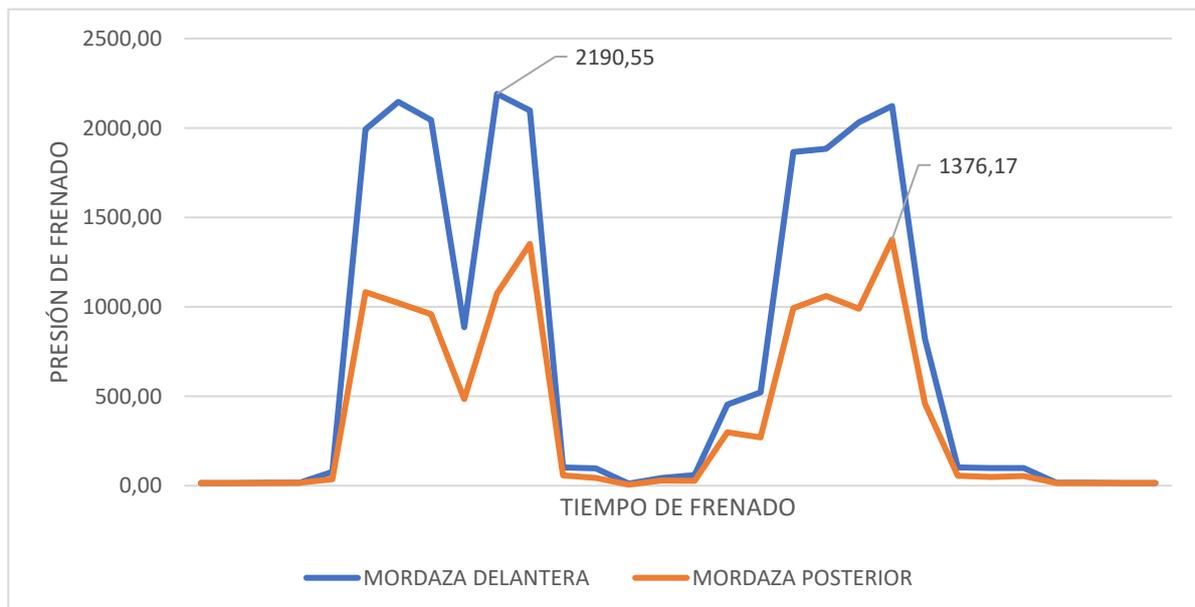


Tabla 30*Resultados Prueba 2 sin Carga - IAM*

IAM PRUEBA 2 - SIN CARGA	
Inicio de frenado	17:37:13,76
Fin de frenado	17:37:16,18
Tiempo de frenado	0:00:02,42
Velocidad al aplicar freno	90,00 km/h
Distancia de frenado	30,26 m
Temperatura ambiente	30 °C
Temperatura piso	36 °C
Temperatura pastilla delantera más alta registrada	68,47 °C
Temperatura pastilla posterior más alta registrada	60,52 °C
Presión máximo mordaza delantera	2225,79 Psi
Presión máximo mordaza posterior	1292,83 Psi

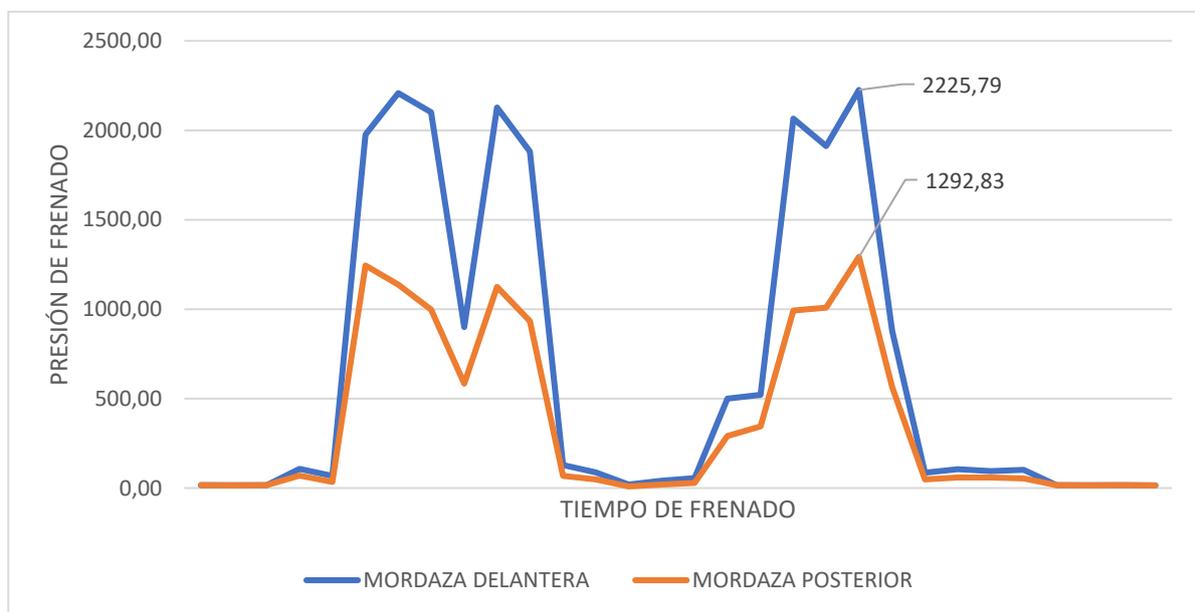


Tabla 31*Resultados Prueba 3 sin Carga - IAM*

IAM PRUEBA 3 - SIN CARGA	
Inicio de frenado	17:42:07,57
Fin de frenado	17:42:10,21
Tiempo de frenado	0:00:02,64
Velocidad al aplicar freno	90,00 km/h
Distancia de frenado	32,99 m
Temperatura ambiente	30 °C
Temperatura piso	36 °C
Temperatura pastilla delantera más alta registrada	72,21 °C
Temperatura pastilla posterior más alta registrada	64,89 °C
Presión máximo mordaza delantera	2143,65 Psi
Presión máximo mordaza posterior	1333,46 Psi

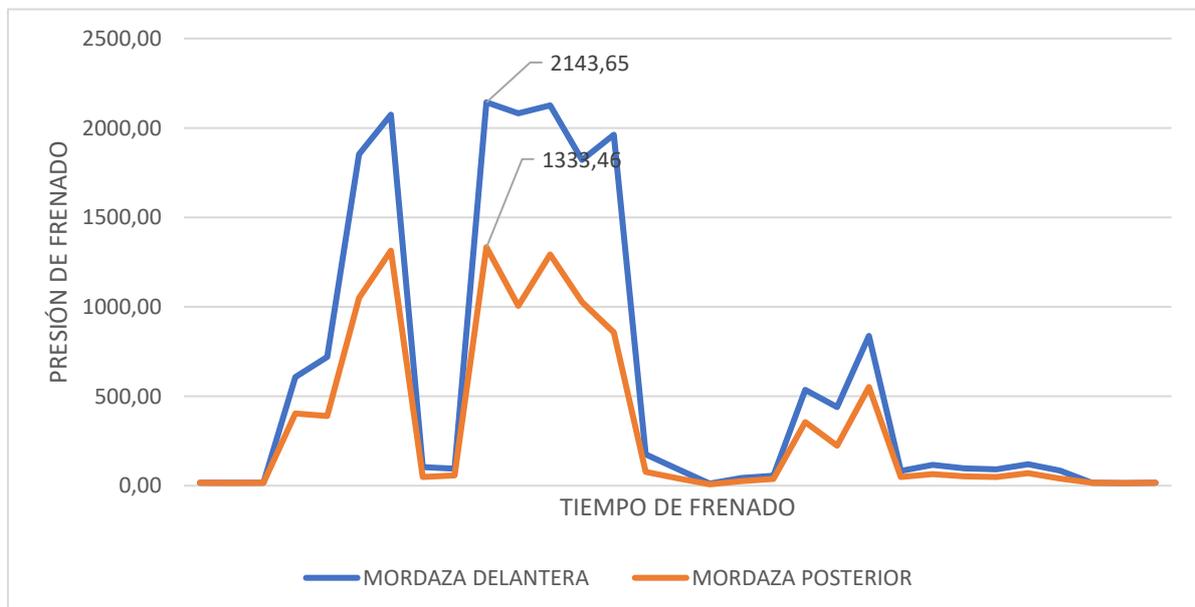


Tabla 32*Resultados Prueba 4 sin Carga - IAM*

IAM PRUEBA 4 - SIN CARGA	
Inicio de frenado	17:47:33,18
Fin de frenado	17:47:35,71
Tiempo de frenado	0:00:02,53
Velocidad al aplicar freno	90,00 km/h
Distancia de frenado	31,62 m
Temperatura ambiente	29 °C
Temperatura piso	35 °C
Temperatura pastilla delantera más alta registrada	76,96 °C
Temperatura pastilla posterior más alta registrada	69,03 °C
Presión máximo mordaza delantera	2215,90 Psi
Presión máximo mordaza posterior	1364,22 Psi

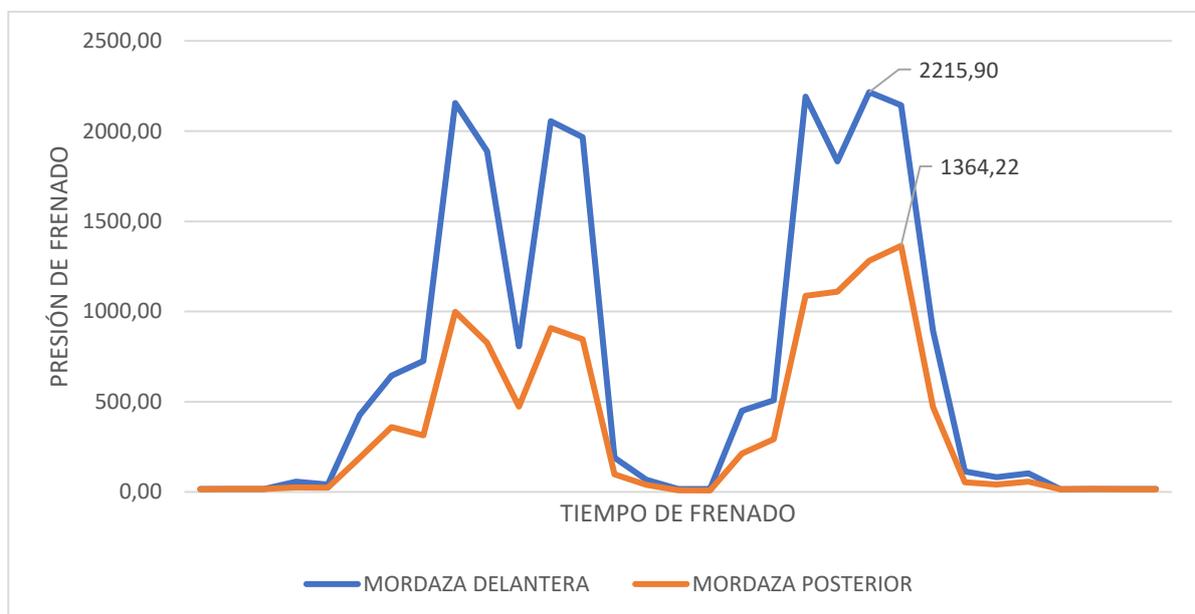


Tabla 33*Resultados de Prueba 5 sin Carga - IAM*

IAM PRUEBA 5 - SIN CARGA	
Inicio de frenado	17:54:07,28
Fin de frenado	17:54:10,03
Tiempo de frenado	0:00:02,75
Velocidad al aplicar freno	90,00 km/h
Distancia de frenado	34,39 m
Temperatura ambiente	29 °C
Temperatura piso	35 °C
Temperatura pastilla delantera más alta registrada	77,83 °C
Temperatura pastilla posterior más alta registrada	70,15 °C
Presión máximo mordaza delantera	2192,15 Psi
Presión máximo mordaza posterior	1171,90 Psi

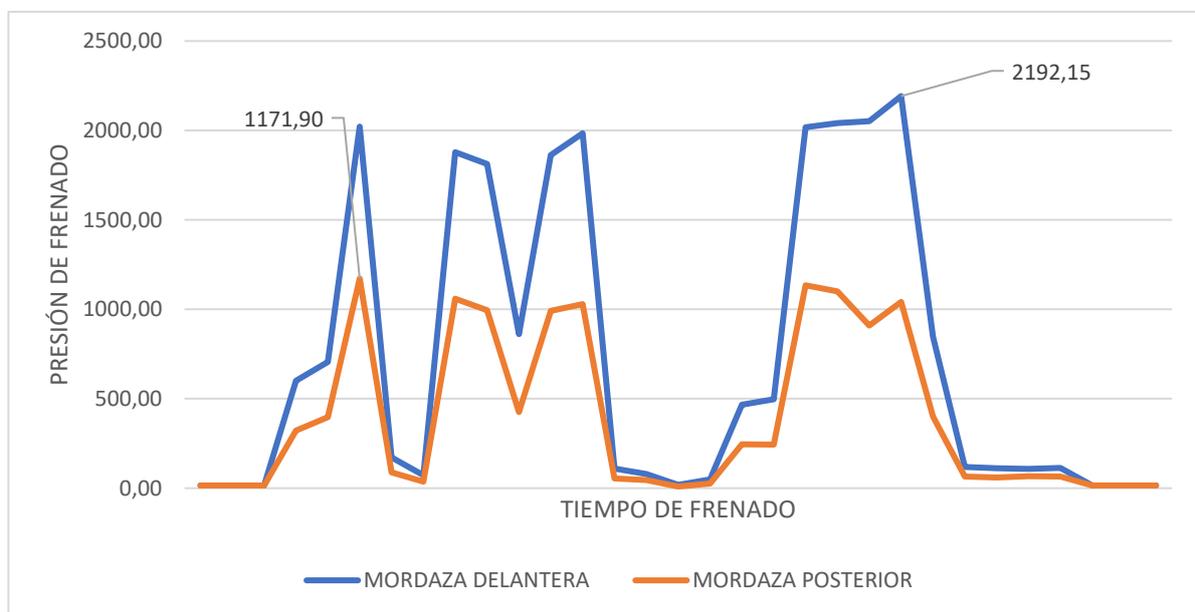


Tabla 34*Resultados Prueba 1 con Carga - IAM*

IAM PRUEBA 1 - CON CARGA	
Inicio de frenado	18:01:58,20
Fin de frenado	18:02:01,06
Tiempo de frenado	0:00:02,86
Velocidad al aplicar freno	90,00 km/h
Distancia de frenado	35,77 m
Temperatura ambiente	28 °C
Temperatura piso	34°C
Temperatura pastilla delantera más alta registrada	79,55 °C
Temperatura pastilla posterior más alta registrada	75,50 °C
Presión máximo mordaza delantera	2177,24 Psi
Presión máximo mordaza posterior	1937,96 Psi

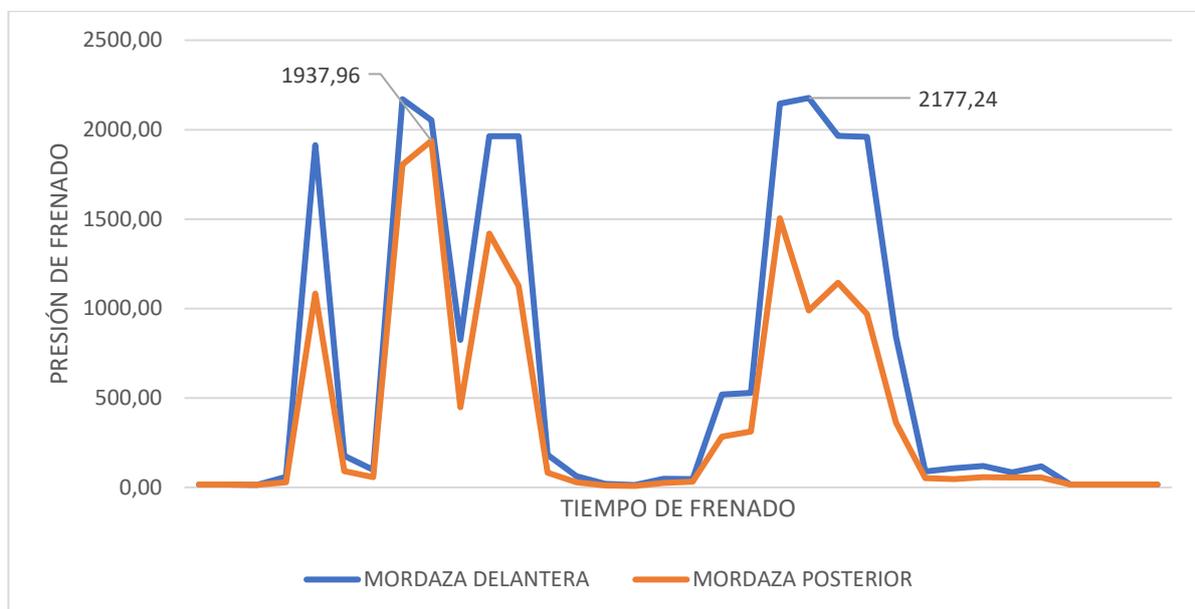


Tabla 35*Resultados Prueba 2 con Carga – IAM*

IAM PRUEBA 2 - CON CARGA	
Inicio de frenado	18:04:40,67
Fin de frenado	18:04:43,64
Tiempo de frenado	0:00:02,97
Velocidad al aplicar freno	90,00 km/h
Distancia de frenado	37,03 m
Temperatura ambiente	28 °C
Temperatura piso	34°C
Temperatura pastilla delantera más alta registrada	85,92 °C
Temperatura pastilla posterior más alta registrada	81,66 °C
Presión máximo mordaza delantera	2187,52 Psi
Presión máximo mordaza posterior	1750,61 Psi

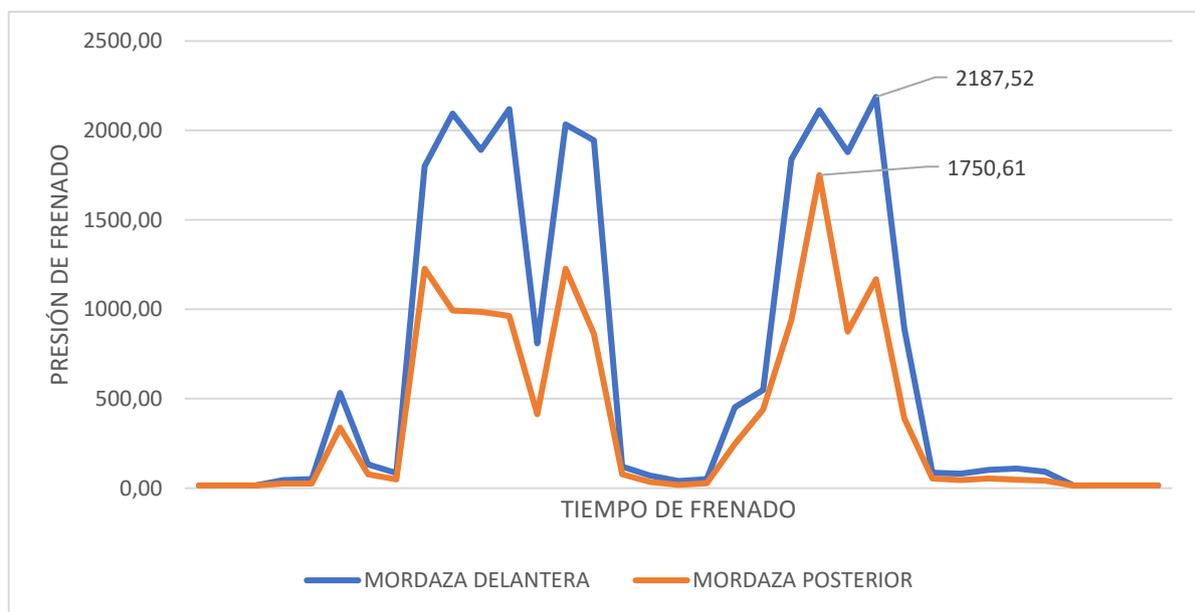


Tabla 36*Resultados Prueba 3 con Carga - IAM*

IAM PRUEBA 3 - CON CARGA	
Inicio de frenado	18:09:17,25
Fin de frenado	18:09:20,00
Tiempo de frenado	0:00:02,75
Velocidad al aplicar freno	90,00 km/h
Distancia de frenado	34,39 m
Temperatura ambiente	28 °C
Temperatura piso	34°C
Temperatura pastilla delantera más alta registrada	88,94 °C
Temperatura pastilla posterior más alta registrada	85,03 °C
Presión máximo mordaza delantera	2181,88 Psi
Presión máximo mordaza posterior	1430,64 Psi

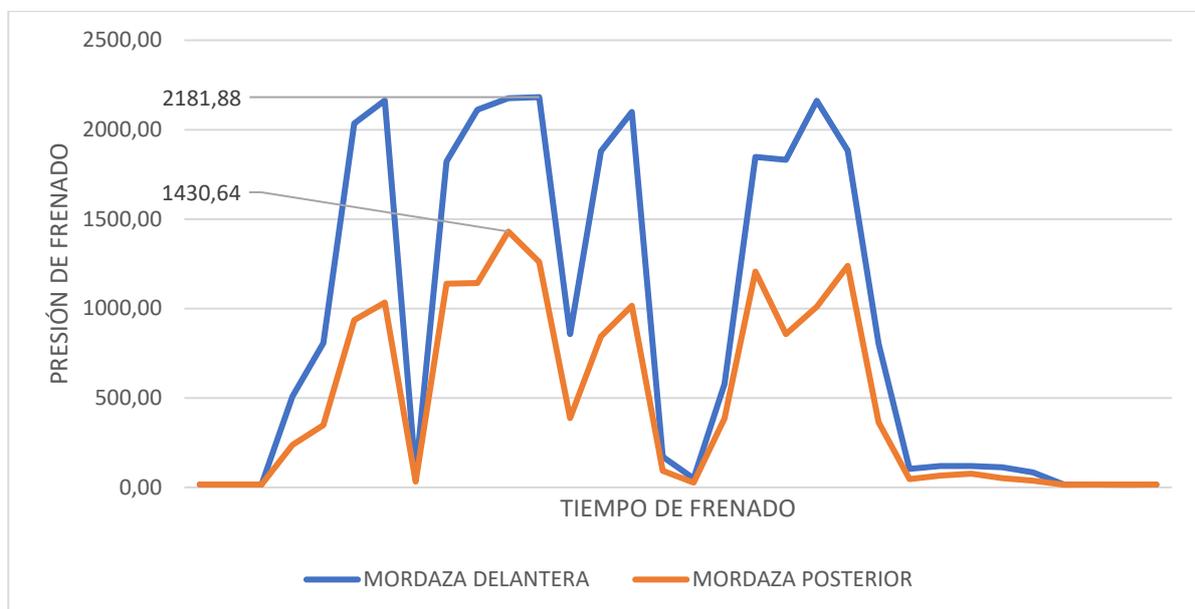


Tabla 37*Resultados Prueba 4 con Carga - IAM*

IAM PRUEBA 4 - CON CARGA	
Inicio de frenado	18:14:41,70
Fin de frenado	18:14:44,78
Tiempo de frenado	0:00:03,08
Velocidad al aplicar freno	90,00 km/h
Distancia de frenado	38,47 m
Temperatura ambiente	28 °C
Temperatura piso	34°C
Temperatura pastilla delantera más alta registrada	97,39 °C
Temperatura pastilla posterior más alta registrada	91,72 °C
Presión máximo mordaza delantera	2138,97 Psi
Presión máximo mordaza posterior	1732,82 Psi

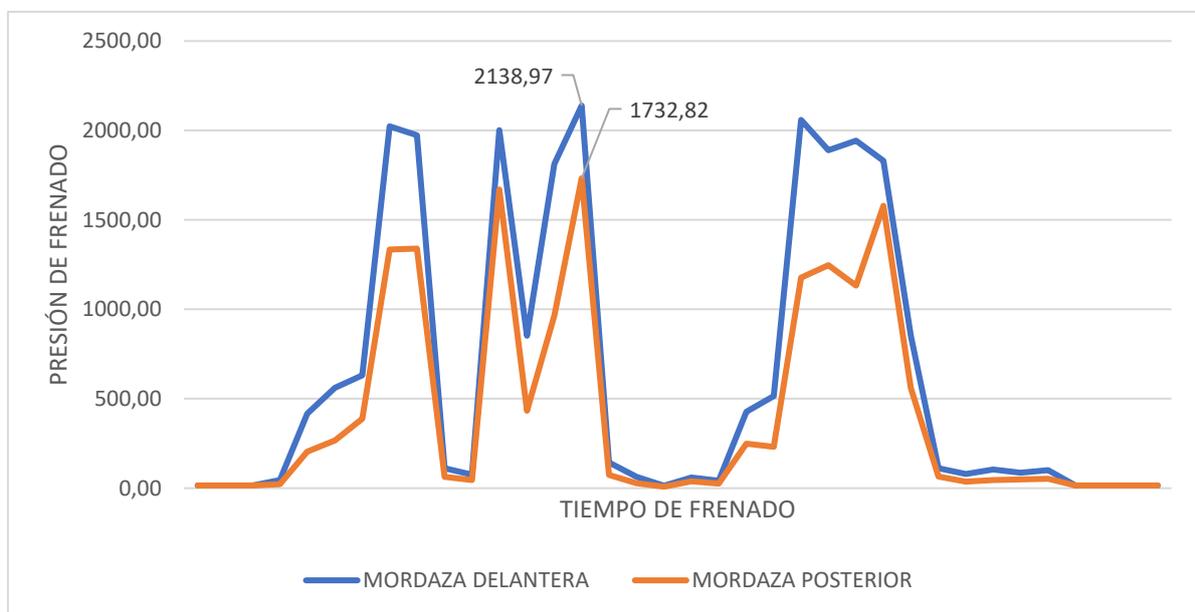
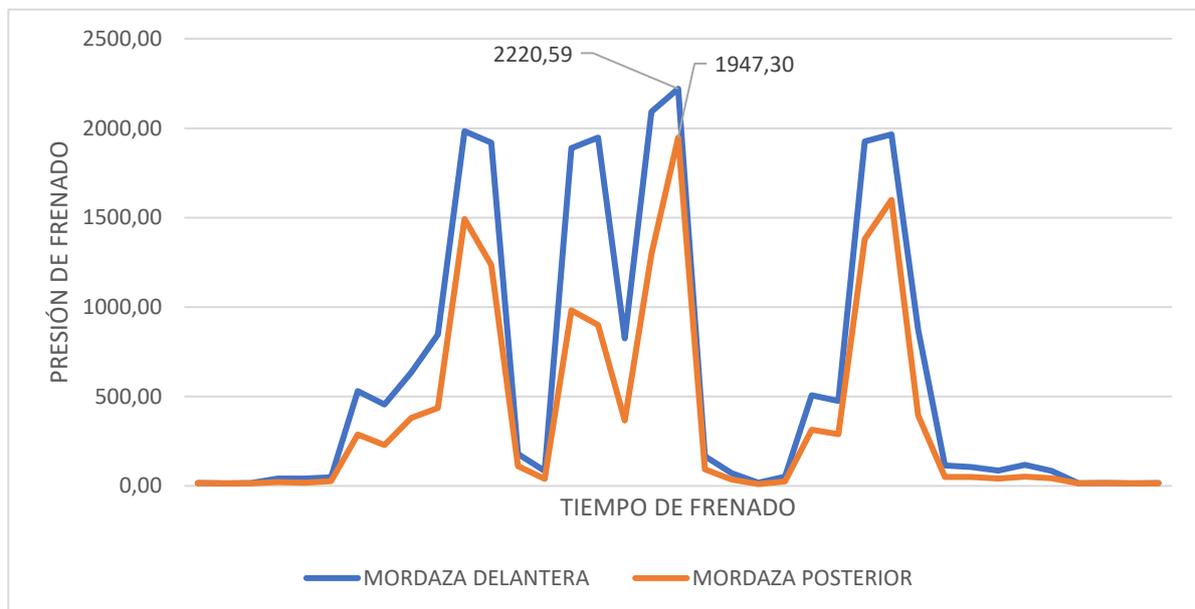


Tabla 38*Resultados Pruebas 5 con Carga - IAM*

IAM PRUEBA 5 - CON CARGA	
Inicio de frenado	18:25:15,33
Fin de frenado	18:25:18,52
Tiempo de frenado	0:00:03,19
Velocidad al aplicar freno	90,00 km/h
Distancia de frenado	39,85 m
Temperatura ambiente	28 °C
Temperatura piso	34°C
Temperatura pastilla delantera más alta registrada	104,93 °C
Temperatura pastilla posterior más alta registrada	93,41 °C
Presión máximo mordaza delantera	2220,59 Psi
Presión máximo mordaza posterior	1947,30 Psi



4.1.2. Resumen de los Datos Obtenidos

Tabla 39

Resumen de Datos de las Pruebas con Pastillas OEM sin y con Carga

Pastillas OEM					
Prueba sin carga	1	2	3	4	5
Tiempo de frenado	0:00:01,98	0:00:01,76	0:00:02,09	0:00:01,87	0:00:02,31
Distancia de frenado (m)	24,76	22,03	26,14	23,38	28,85
Temperatura más alta delantera °C	75,23	75,89	76,42	77,06	77,82
Temperatura más alta posterior °C	68,56	69,01	70,11	70,89	72,56
Prueba con carga	1	2	3	4	5
Tiempo de frenado	0:00:02,53	0:00:02,86	0:00:02,75	0:00:02,42	0:00:02,64
Distancia de frenado (m)	31,62	35,77	34,39	30,26	32,99
Temperatura más alta delantera °C	79,12	79,96	82,05	84,68	91,74
Temperatura más alta posterior °C	74,11	75,67	77,93	79,29	82,59

Tabla 40

Resumen de Datos de las Pruebas con Pastillas OE sin y con Carga

Pastillas OE					
Prueba sin carga	1	2	3	4	5
Tiempo de frenado	0:00:02,20	0:00:02,31	0:00:02,42	0:00:02,09	0:00:02,31
Distancia de frenado (m)	27,05	28,85	30,26	26,14	28,85
Temperatura más alta delantera °C	69,52	75,04	78,11	89,51	96,45
Temperatura más alta posterior °C	56,81	59,63	67,88	75,22	83,49
Prueba con carga	1	2	3	4	5
Tiempo de frenado	0:00:02,86	0:00:02,53	0:00:02,64	0:00:02,75	0:00:02,53
Distancia de frenado (m)	35,77	31,62	32,99	34,39	31,62
Temperatura más alta delantera °C	101,23	121,49	134,20	152,42	168,78
Temperatura más alta posterior °C	92,33	98,22	104,96	134,01	155,32

Tabla 41*Resumen de Datos de las Pruebas con Pastillas IAM sin y con carga*

Pastillas IAM					
Prueba sin carga	1	2	3	4	5
Tiempo de frenado	0:00:02,31	0:00:02,42	0:00:02,64	0:00:02,53	0:00:02,75
Distancia de frenado (m)	28,85	30,26	32,99	31,62	34,39
Temperatura más alta delantera °C	63,88	68,47	72,21	76,96	77,83
Temperatura más alta posterior °C	56,12	60,52	64,89	69,03	70,15
Prueba con carga	1	2	3	4	5
Tiempo de frenado	0:00:02,86	0:00:02,97	0:00:02,75	0:00:03,08	0:00:03,19
Distancia de frenado (m)	35,77	37,03	34,39	38,47	39,85
Temperatura más alta delantera °C	79,55	85,92	88,94	97,39	104,93
Temperatura más alta posterior °C	75,50	81,66	85,03	91,72	93,41

Nota. El resumen de los datos permitirá realizar un análisis más preciso de la información obtenida de las pruebas

de frenado de emergencia.

4.1.3. Promedios de los Datos Obtenidos

Para conocer el resultado de las evaluaciones generadas, se muestra una tabla de promedios que permitirá conocer de manera general los resultados completos.

Tabla 42

Resumen en Promedios de los Resultados Obtenidos

Resumen General - Promedios de Resultados			
Prueba sin carga	OEM	OE	IAM
Tiempo de frenado	0:00:02,00	0:00:02,27	0:00:02,53
Distancia de frenado (m)	25,03	28,23	31,62
Temperatura más alta delantero °C	76,48	81,73	71,87
Temperatura más alta posterior °C	70,23	68,61	64,14
Prueba con carga			
Tiempo de frenado	0:00:02,64	0:00:02,66	0:00:02,97
Distancia de frenado (m)	33,01	33,28	37,10
Temperatura más alta delantero °C	83,51	135,62	91,35
Temperatura más alta posterior °C	77,92	116,97	85,46

Nota. El resumen en promedios permite realizar los análisis mayores de las variaciones.

4.1.4. Gráficas de las mediciones recolectadas por el Acelerómetro

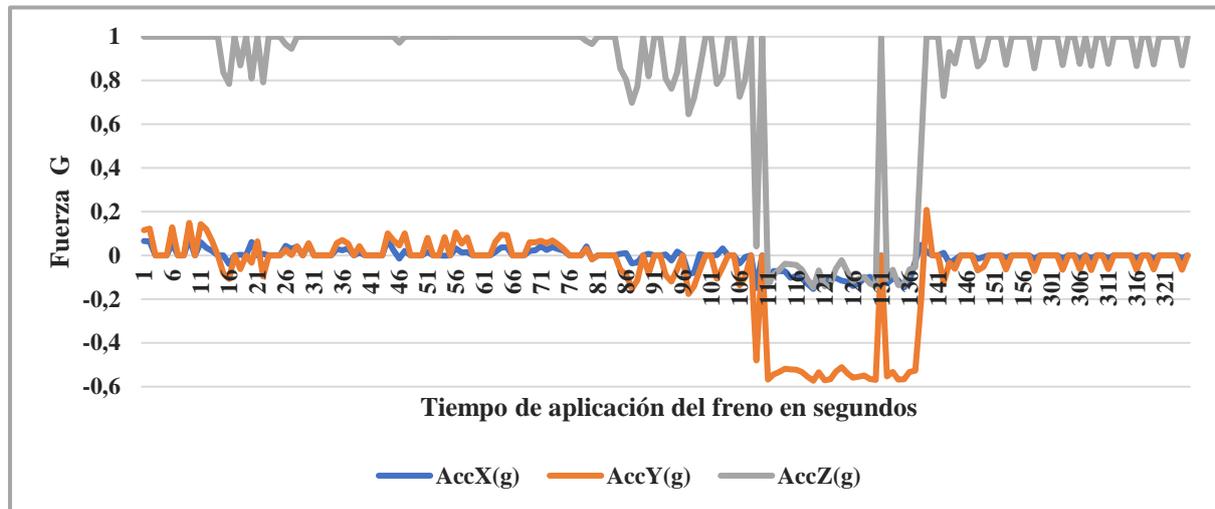
En la realización de las pruebas, el sensor acelerómetro recolecta una gran cantidad de datos relacionados a los fenómenos que se desarrollaron durante la aplicación del freno, los cuales permitieron una mejor comprensión de la diferencia entre pastillas de freno. Sin embargo, estos datos fueron procesados para generar gráficos que permiten de mejor forma su comprensión y las cuales cuentan con las explicaciones pertinentes.

Durante el análisis de las gráficas hay que tener en cuenta que el frente y la parte posterior del vehículo están alineados con el eje Y, mientras que el eje X hace referencia a los laterales del vehículo y por último el eje Z está alineado al techo y al piso del vehículo.

Pruebas - Pastillas OEM

Figura 47

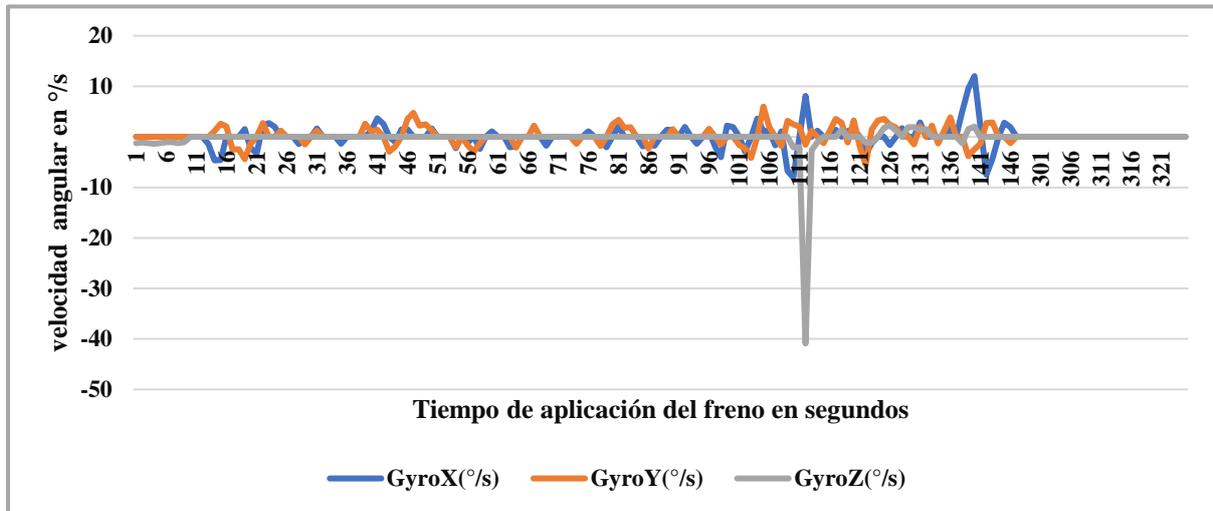
Gráfica de aceleración – Pastillas OEM sin Carga



En la presente gráfica se puede apreciar los 3 ejes de lectura del acelerómetro, el eje Z (vertical) parte desde 1 g debido a que está tomando la lectura de la gravedad, mientras que los ejes Y (longitudinal) marca la aceleración en el avance del vehículo y el eje X (transversal) mide la aceleración lateral del vehículo. Se aprecian diminutos picos en el eje Z y Y, desde el segundo 1 hasta el segundo 106 los cuales corresponden a la aceleración y cambios de marcha del vehículo, sin embargo, desde el segundo 106 hasta el 141 se toman lecturas negativas por la desaceleración súbita que sufre el vehículo, esto debido al cambio de masa y es gracias al agarre que ofrecen las pastillas.

Figura 48

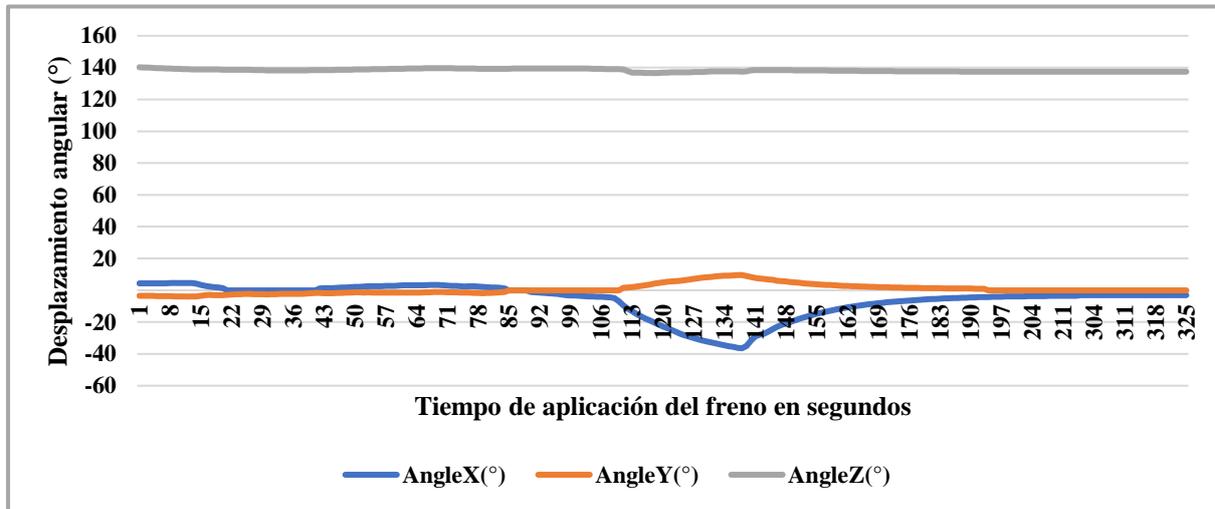
Gráfica velocidad angular – Pastillas OEM sin Carga



La gráfica representa la rapidez con la que el vehículo cambia su ángulo de rotación; es decir, entre el segundo 101 hasta el segundo 116 se producen variaciones de hasta $60^{\circ}/s$ sobre el eje Z (Yaw) el cual hace referencia a un mal agarre del neumático con la calzada o un derrape por el desequilibrio entre los ejes del vehículo, que causo una leve rotación hacia el lado derecho, pero el sistema ABS y EBD lo corrigen; por eso se puede apreciar que el tiempo de duración del pico es leve. Por el contrario, en los ejes X (pitch) y Y(roll) se aprecian picos no tan significativos, pero que muestran los movimientos transversales y longitudinales que el vehículo genera hasta su parada total. Las pastillas OEM toman un papel fundamental debido a que al generar una alta adherencia al disco el sistema de frenos puede controlar las variaciones que se dan en el reparto de fuerza de frenado.

Figura 49

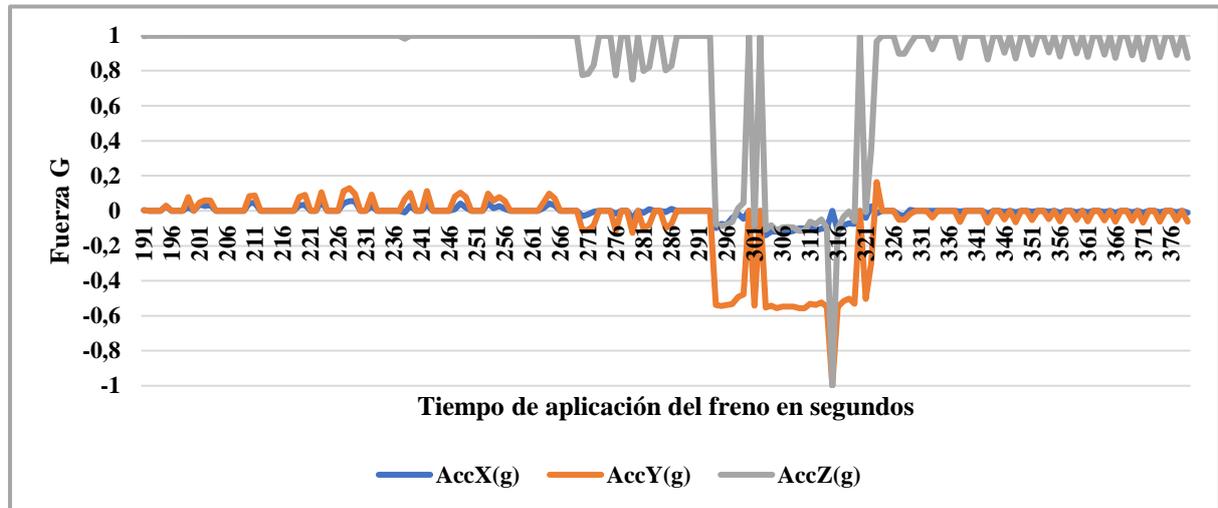
Gráfica de Inclinación – Pastillas OEM sin Carga



La gráfica representa el grado de inclinación sufrido durante el frenado, teniendo en cuenta que el eje X (pitch) marca una inclinación significativa cercana a los -40° entre el segundo 106 al segundo 183. Esto sucede cuando el sistema de frenos entra en acción y obliga a las pastillas de freno a detener al vehículo, causando así que el mismo se incline por efecto de la concentración de la masa. Este fenómeno puede variar en consideración a la calidad de la pastilla de frenos, con las OEM se genera un gran agarre; sin perder su condición. Se puede apreciar un leve pico en el eje Y (roll), esto se debe al desequilibrio de ejes que se dio en el reparto de la fuerza de frenado obligando al vehículo a acentuar su mayor masa sobre el lado derecho. Mientras que el eje Z (yaw) marca un ángulo de 140° debido a la desface de la dirección del vehículo respecto al norte, es decir mientras en acelerómetro marca el norte terrestre el vehículo se desplazaba 140° grados hacia el oeste.

Figura 50

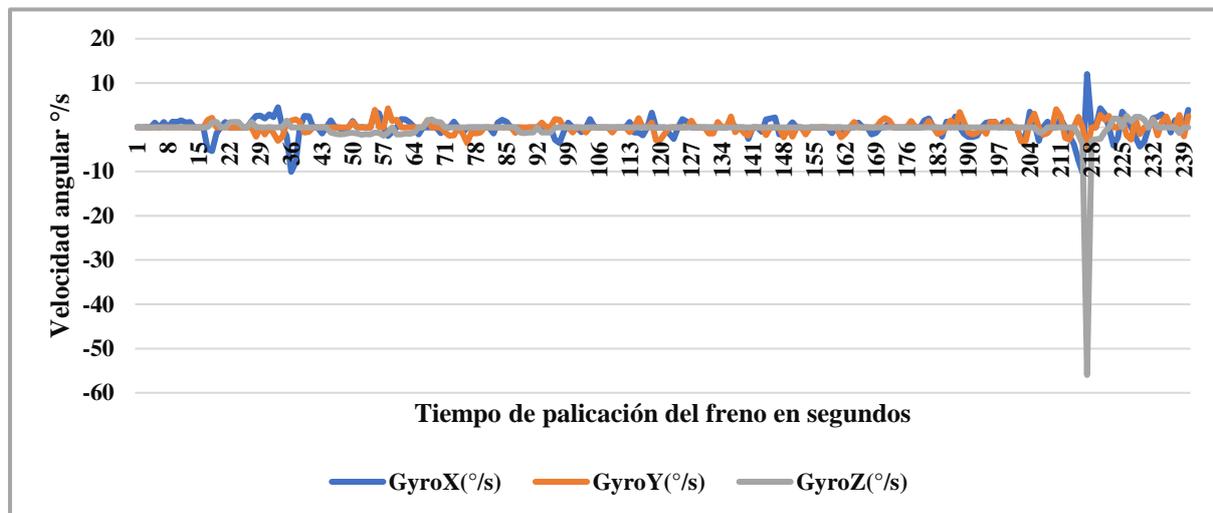
Gráfica de Aceleración – Pastillas OEM con Carga



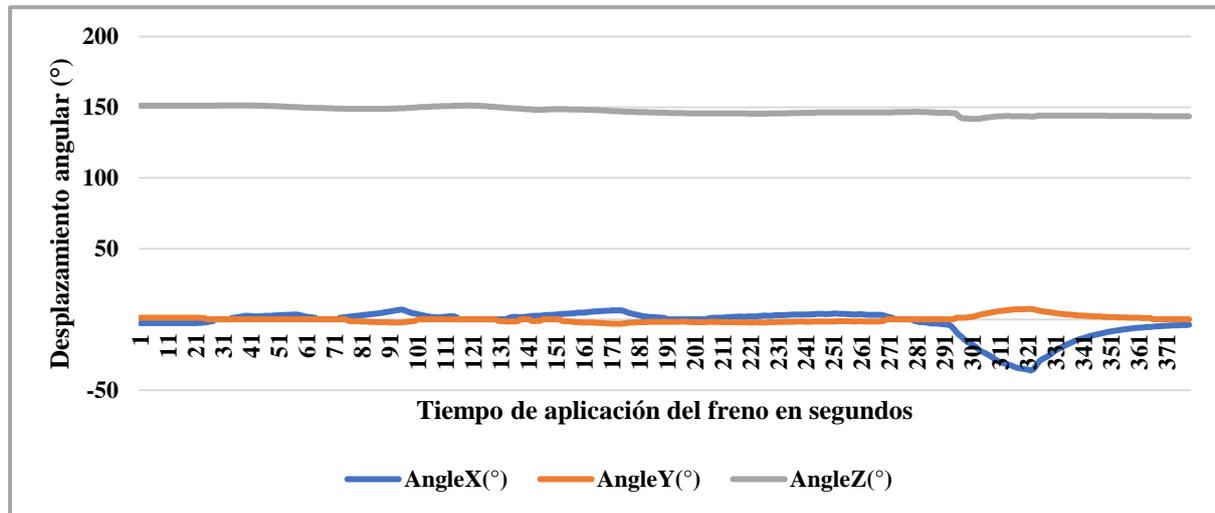
En esta gráfica se puede apreciar que el aumento del peso genera cambios significativos con relación a las fuerzas experimentadas y el estrés que puede sufrir el sistema de frenos del vehículo. El eje X (transversal) no presenta alteraciones significativas debido a que el vehículo no sufre desaceleraciones laterales, mientras que los ejes Z (vertical) y Y (longitudinal) sí lo hacen; en el eje Z se aprecia la aceleración gravitacional que sufre una caída negativa debido al brusco cambio de masa por la desaceleración del frenado súbito, por el contrario, el eje Y muestra una mayor desaceleración con respecto al vehículo sin peso. Esto es porque el peso incide directamente sobre el frenado del vehículo, haciendo que la fuerza de desaceleración sea directamente proporcional al peso del vehículo. Las pastillas OEM ofrecen una elevada estabilidad mecánica durante la desaceleración.

Figura 51

Gráfica de Velocidad Angular – Pastillas OEM con Carga

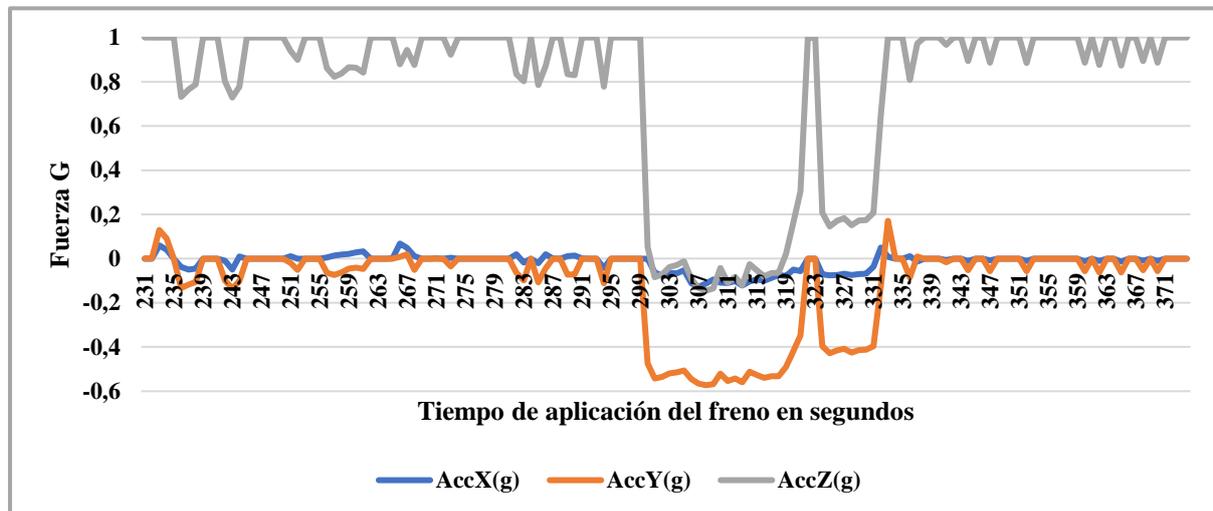


En esta gráfica que se puede apreciar como el aumento de peso puede influir directamente sobre la estabilidad del carro, los picos generados desde el segundo 1 hasta el segundo 204 reflejan la inclinaciones y movimientos producidos durante el avance del vehículo; esto está relacionado directamente con el sistema de suspensión; el cual debe adaptar las ruedas a las irregularidades del terreno sin perder la estabilidad del vehículo mientras este está en movimiento. sin embargo, desde el segundo 211 hasta el 239 se aprecian picos significativos relacionados con desequilibrio de eje; el Yaw (eje z) se ve influenciado hacía el sentido derecho, el sistema de frenos corrige la irregularidad para así asegurar un frenado parejo, por ello el desequilibrio a pesar de su magnitud, dura un instante. El resto de las interacciones de los ejes corresponden al momento en el que vehículo se detiene por completo.

Figura 52*Gráfica de Inclinación – Pastillas OEM con Carga*

La gráfica muestra como el aumento del peso afecta la inclinación sufrida en el vehículo. En el eje X (pitch) se registra un grado de inclinación bastante considerable al momento de la frenada súbita a la que se sometió el vehículo, en comparación a la gráfica 43, el vehículo sufrió 10° grados más de inclinación, esto se debe al cambio de la concentración de la masa; debido a esto las pastillas deben soportar mayor estrés, tal cual como lo hacen las OEM. Por otra parte, en el eje Y (roll) se aprecia una leve inclinación en sentido al lado derecho del vehículo, esto se puede deber al desequilibrio de los ejes, a la repartición de la fuerza de frenado o al sistema de suspensión. El eje Z (yaw) sigue marcando el desfase que tiene el vehículo con respecto al sentido norte; este parámetro no refleja algún tipo de alteración que afecta al sistema de frenado del vehículo, o algún problema durante la acción de frenado del mismo.

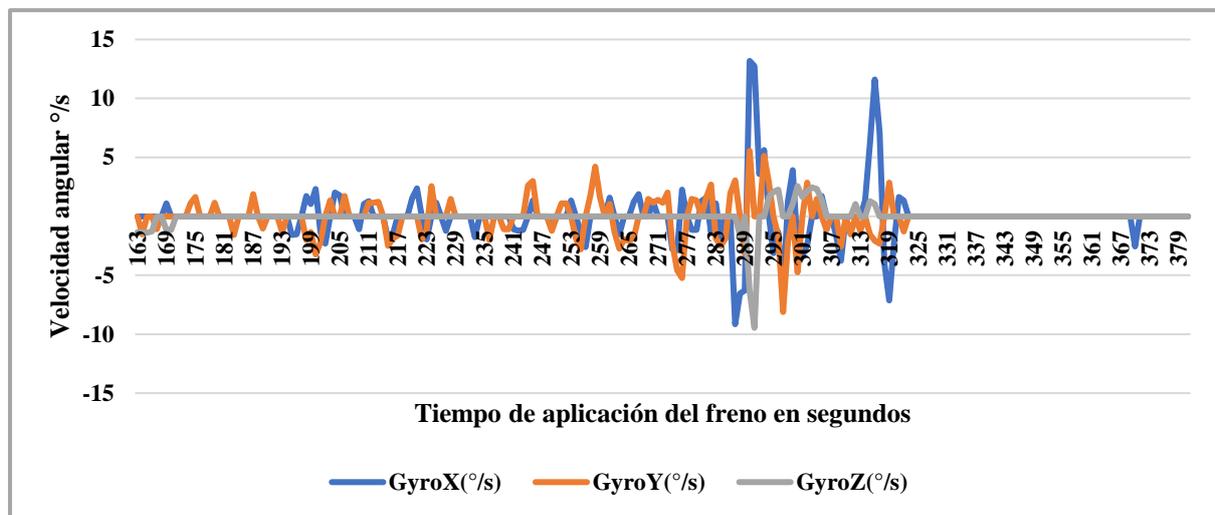
Pruebas - Pastillas OE

Figura 53*Gráfica de Aceleración – Pastillas OE sin Carga*

La presente gráfica muestra el comportamiento del vehículo durante el frenado súbito cuando se incorporan pastillas OE, a diferencia de las OEM; se puede apreciar que el frenado dura mucho más, en donde el eje Y (longitudinal) muestra una desaceleración más demorada y que se ve interrumpida, disminuyendo incluso la desaceleración experimentada, esto se debe a que el agarre ofrecido por las pastillas no es igual o mayor que las OEM. En Los ejes X (transversal) se sigue sin detectar fuerzas considerables referentes a un derrape, mientras que el eje Z (vertical) presenta un cambio de masa sin parámetros significativos, pero que son correlacionales a una pérdida de adherencia por parte de las pastillas.

Figura 54

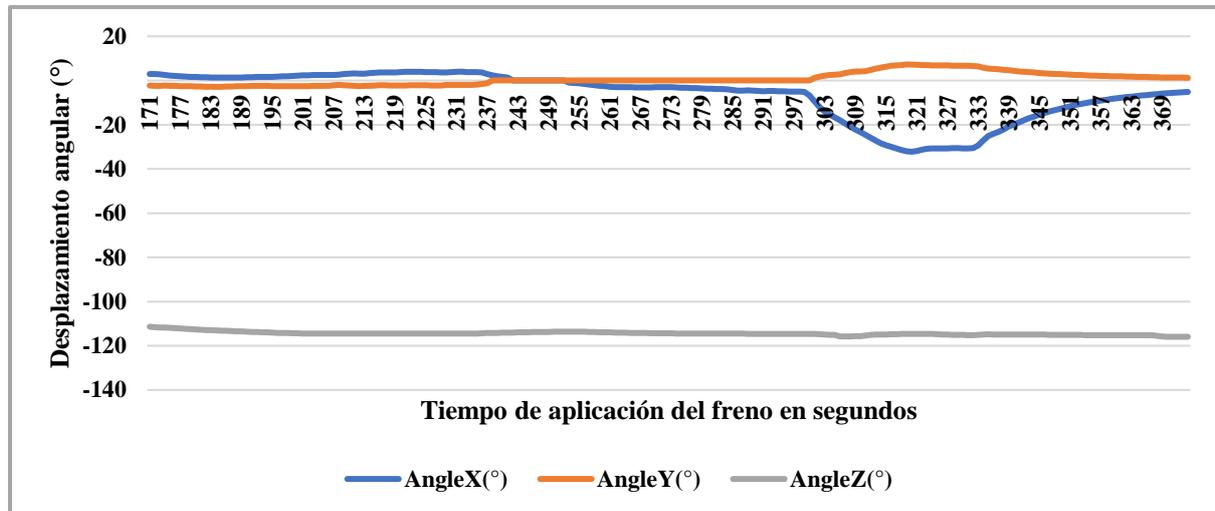
Gráfica de Velocidad Angular – Pastillas OE sin Carga



En esta gráfica se puede apreciar una alta sinuosidad en el vehículo; la cual corresponde a los desfases de la calzada o leves movimientos en el avance del vehículo, esto se ve reflejado por el sistema de suspensión, sin embargo, a partir del segundo 277, se puede apreciar que los picos de los ejes X (pitch), Y (roll) y Z (yaw) se ven combinados y elevadamente acentuados, debido a que durante la frenada las pastillas OE no ofrecen un agarre preciso; dando como consecuencia un mayor desequilibrio en los ejes, también se producen variaciones en sus ángulos de rotación, mayormente acentuados en el pitch y el roll.

Figura 55

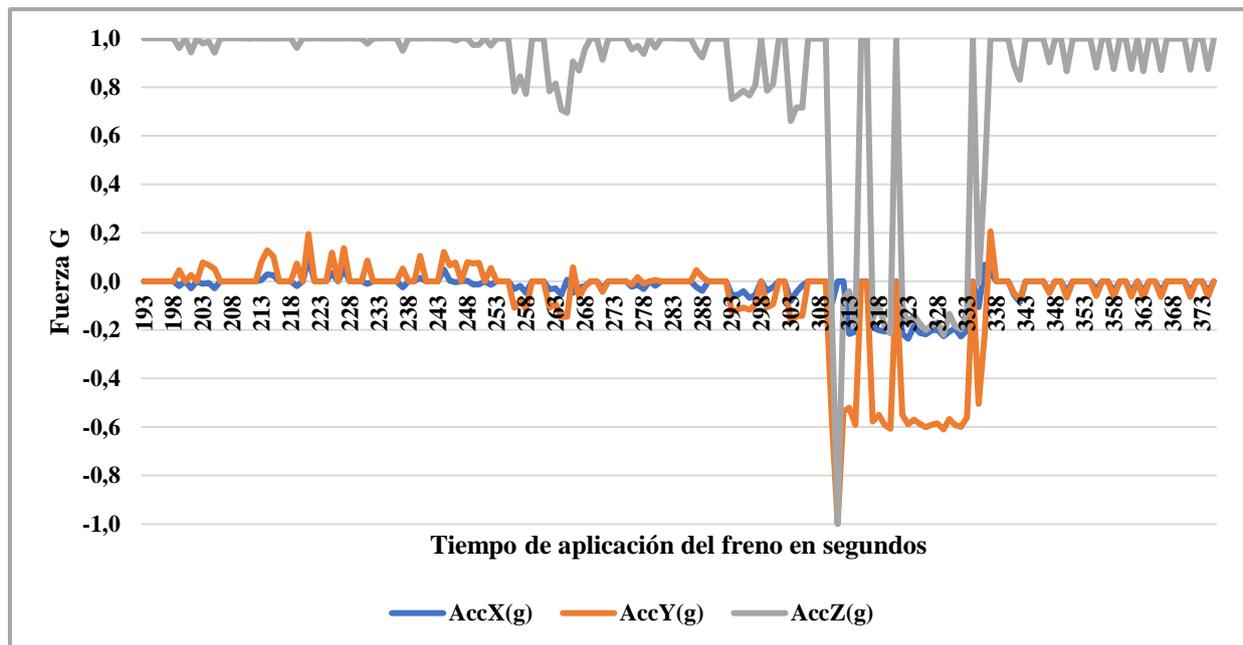
Gráfica de Desplazamiento angular – Pastillas OE sin Carga



En esta gráfica se aprecia que durante el frenado; desde el segundo 303 al 345, el vehículo no presenta un elevado pitch sobre su eje X, a diferencia del generado en las gráficas de las pastillas OEM. Esto se traduce en que al momento de realizar la acción de frenado las pastillas OE no generan una buena adherencia con el disco causando que el vehículo tenga una desaceleración suave y prolongada; esto no es bueno ya que en un momento de emergencia cuando se aplica el frenado súbito el vehículo debe parar en la menor distancia posible.

Figura 56

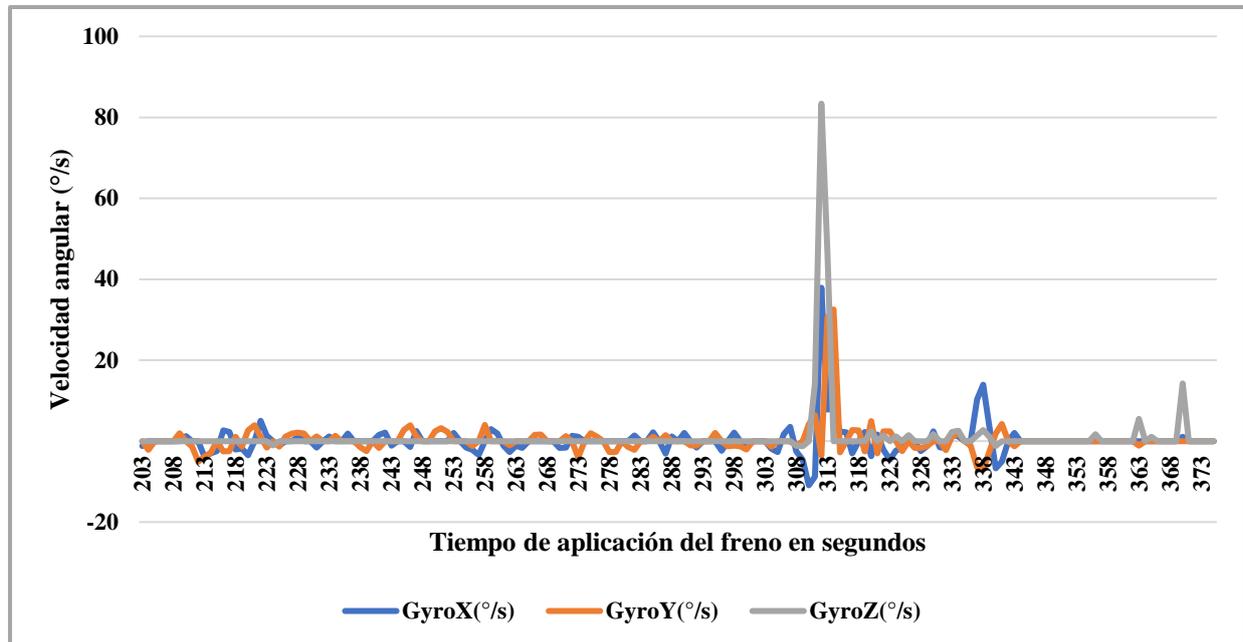
Gráfica de Aceleración – Pastillas OE con Carga



La gráfica muestra la aceleración en los distintos ejes cuando se ha aumentado la masa del vehículo, en el eje Z (vertical) responde a la aceleración gravitacional, mientras que el eje Y (longitudinal) corresponde al avance del vehículo. Las primeras interacciones corresponden a los cambios de marcha del vehículo, sin embargo, desde el segundo 303 hasta el segundo 338 se aprecian los picos más altos que corresponden al cambio de masa por la desaceleración súbita. Se puede apreciar un pico de -1 g, que se interrumpe y disminuye a -0,5 g, esto debido a que por el peso del vehículo las pastillas no logran mantener la estabilidad mecánica durante el frenado, de manera que el vehículo sufre un derrape. El eje X (transversal) no sufre mayor interacción, pero en el lapso de la aplicación del freno se puede apreciar un leve aumento que corresponde al derrape que sufrió el vehículo.

Figura 57

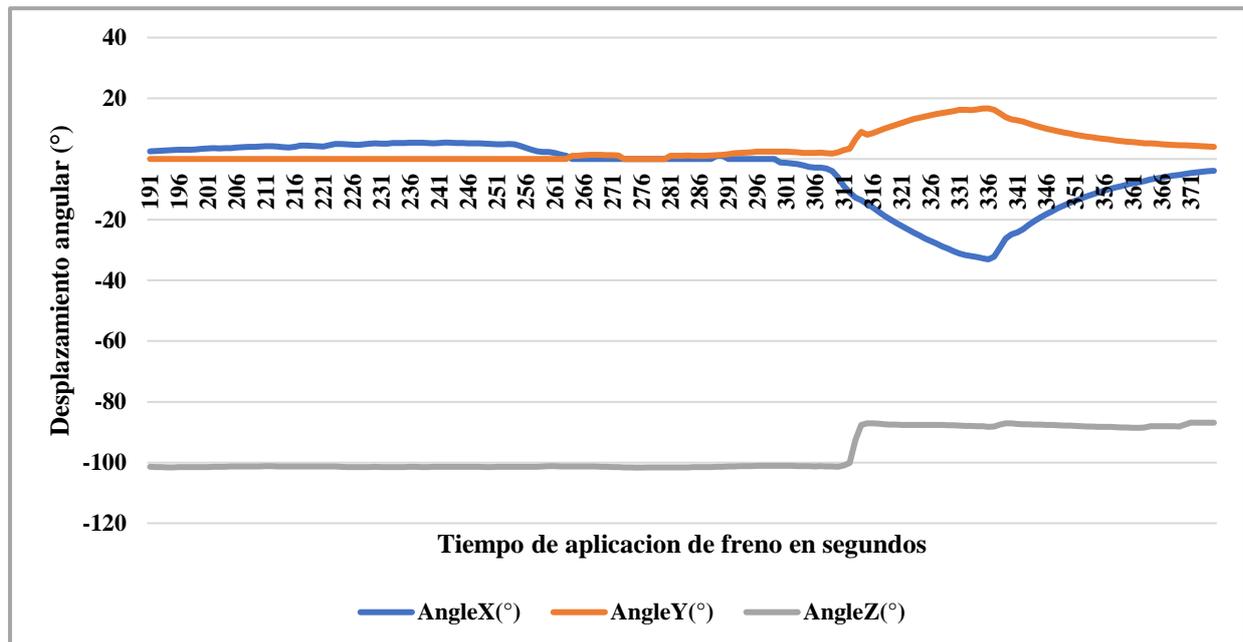
Gráfica de Velocidad Angular – Pastillas OE con Carga



La gráfica presenta los cambios de rotación que se dan en el avance del vehículo, se puede apreciar que son leves y corresponden a la sinuosidad de la calzada, sin embargo, entre el segundo 303 hasta el 323 se registran las mayores interacciones. Se puede apreciar que el aumento de peso puede afectar significativamente la estabilidad del carro durante la frenada, sobre el eje Z (yaw) se refleja un considerable cambio en la rotación dirección del vehículo en orientación a su lado izquierdo, mientras que en el eje Y (roll) se aprecia una inclinación sobre el eje izquierdo del vehículo, por último, el eje X (pitch) hace referencia a un cambio rápido en la transferencia del peso. Estos parámetros reflejan el derrape sufrido por el vehículo durante la acción de frenado

Figura 58

Gráfica de Desplazamiento Angular – Pastillas OE con Carga

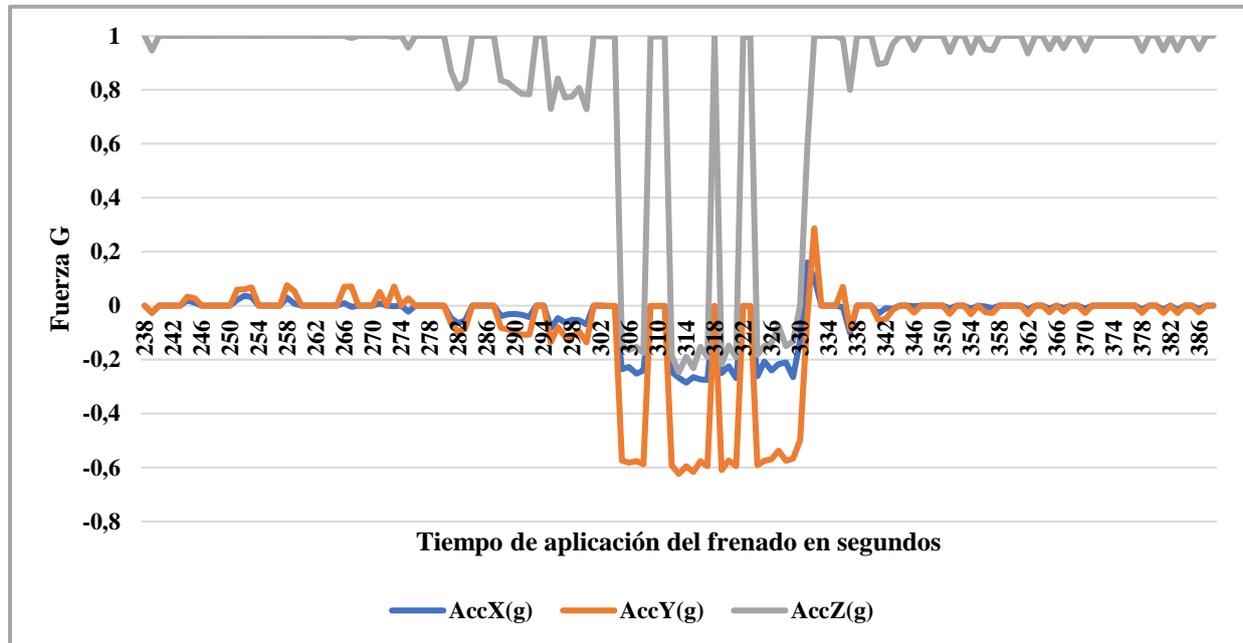


Esta gráfica presenta datos referentes al cambio de masa que sufrió el vehículo durante la acción de frenado con respecto al aumento de peso. El eje Z (yaw) corresponde a la orientación del vehículo con respecto al norte terrestre, mientras que el eje Y (roll) registra una inclinación sobre el eje derecho del vehículo, correspondiente al derrape sufrido, el eje X (pitch) registra una inclinación mayor que la gráfica 48; en esta se puede apreciar que el aumento de peso causa mayor desplazamiento angular debido al cambio de la concentración de la masa del vehículo, sin embargo debido a la pérdida de adherencia de las pastillas la fuerza de frenado disminuye por ello el ángulo de inclinación no es tan pronunciado.

Pruebas – Pastillas IAM

Figura 59

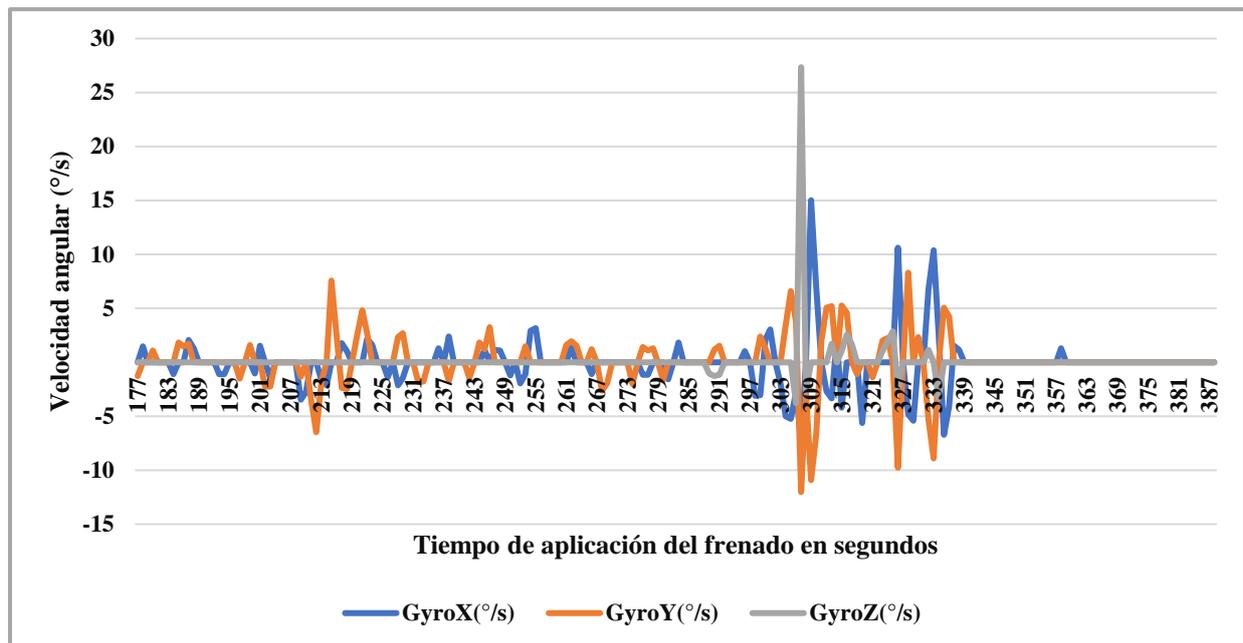
Gráfica de Aceleración – Pastillas IAM



La presente gráfica hace referencia al comportamiento de las pastillas de freno IAM en condiciones de frenado súbito, se puede apreciar los tres ejes, el eje Z (vertical) registra la aceleración de la gravedad terrestre por ello parte desde 1 g; se aprecia una caída de la aceleración que corresponde al cambio de masa, mientras que el eje X (trasversal) registra la aceleración que actúa sobre los laterales del vehículo; se puede apreciar que hay registros de -0.2 g los cuales hacen referencia a que hubo un cambio de masa sobre el lado izquierdo, esto se debe a un derrape por desequilibrio en la adherencia de las pastillas por su bajo coeficiente de fricción. En el eje Y (longitudinal) se registra la aceleración en el avance del vehículo; desde el segundo 302 al 334 se registra una desaceleración considerable de -0.6 g, sin embargo, se puede apreciar como los picos fluctúan, esto corresponde al bajo nivel de adherencia de las pastillas de freno que no permiten un frenado uniforme.

Figura 60

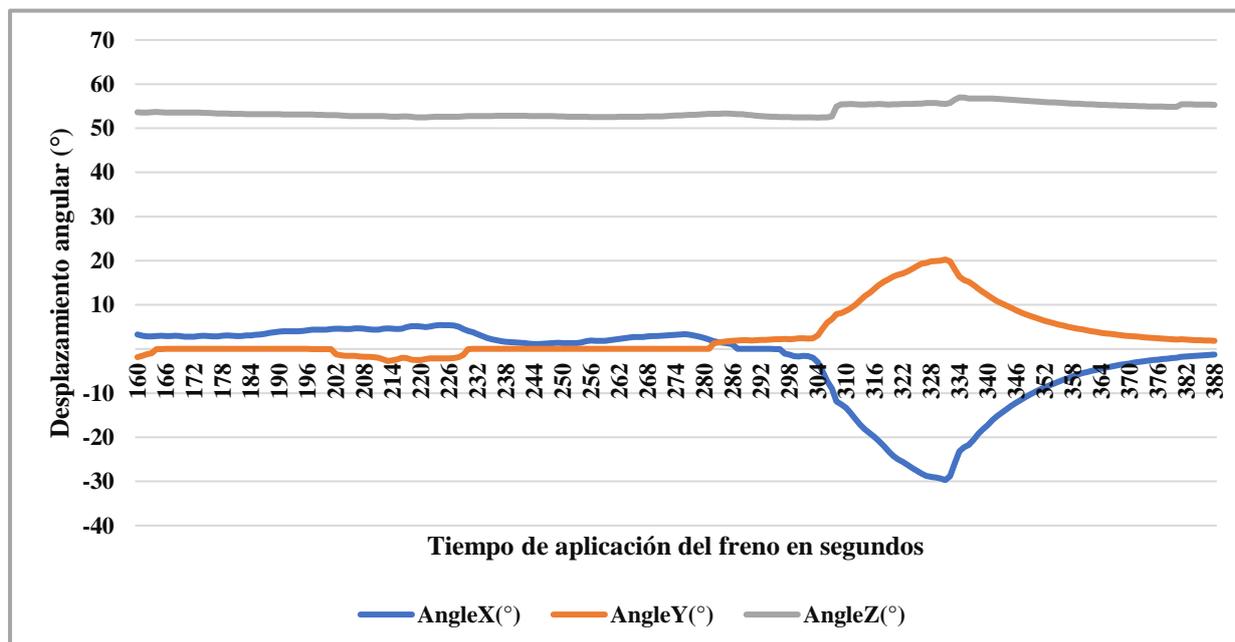
Gráfica de Velocidad Angular – Pastillas IAM sin Carga



En la gráfica se puede apreciar los cambios de rotación que sufre en el vehículo al momento de ejecutar un frenado súbito, en el eje Z (yaw) se registra una rotación en sentido izquierdo indicando un leve derrape en el vehículo por el desequilibrio causado por parte de las pastillas, en el eje Y (roll) se aprecia una inclinación en el vehículo sobre el eje derecho y con respecto al eje X (pitch) se registra una inclinación debido a la desaceleración que sufre el vehículo. Por lo siguiente, se aprecian los últimos picos que hacen referencia a los movimientos que realiza la suspensión del vehículo una vez este llega al pare total.

Figura 61

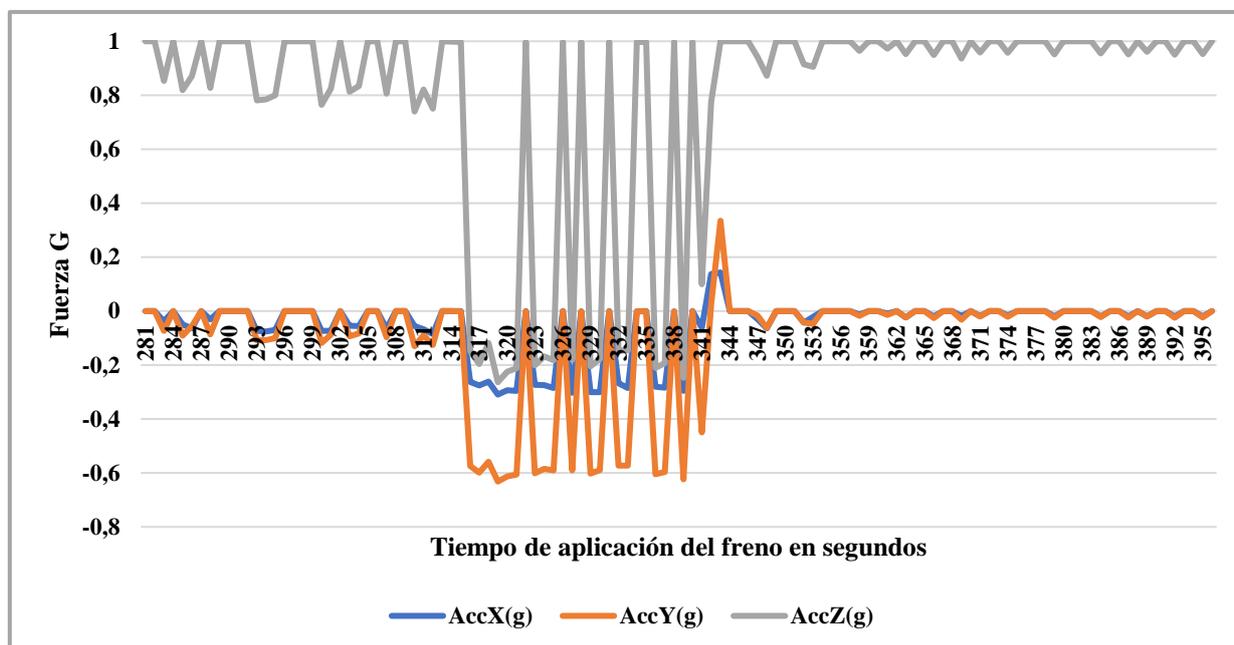
Gráfica de Desplazamiento Angular – Pastillas IAM sin Carga



En esta gráfica se pueden apreciar picos significativos correspondientes al desplazamiento angular que sufre el vehículo con relación a la aplicación del freno de emergencia o súbito. En el eje Z (yaw) se aprecia un registro de 50°; esto es debido a que el sensor registra el desfase del vehículo con respecto al sentido norte, mientras que el eje X (pitch) registra la inclinación que sufre el vehículo a causa de la desaceleración, la misma no es significativa por la baja fricción generada por parte de las pastillas. No obstante, el eje Y (roll) registra una inclinación sobre el lateral derecho correlacional al derrape y el cambio de masa del vehículo.

Figura 62

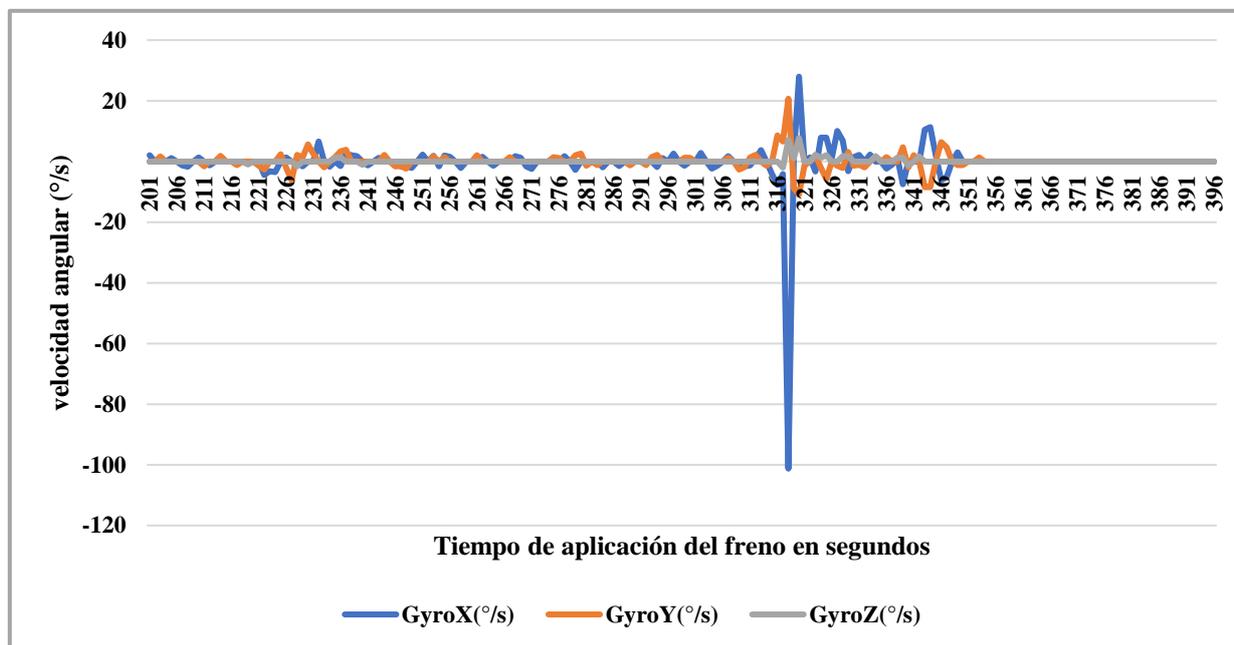
Gráfica de Aceleración – Pastillas IAM con Carga



En esta gráfica el sensor registra los cambios que puede generar un aumento de peso en el vehículo. El eje Z (vertical) registra la aceleración terrestre y a partir del segundo 314 hasta el 344 se aprecian picos consecutivos debido al cambio de masa en el vehículo, el eje Y (longitudinal) registra la desaceleración experimentada por parte del vehículo, como se puede ver se registran picos positivos y negativos consecutivos esto se debe a que durante la desaceleración las pastillas IAM no mantienen la estabilidad mecánica durante el frenado causando un frenado disparado que hace variar la masa del vehículo. En el caso del eje X (transversal) se registra leves cambios en la aceleración que corresponden a un derrape en el vehículo en sentido izquierdo debido al desequilibrio entre los ejes.

Figura 63

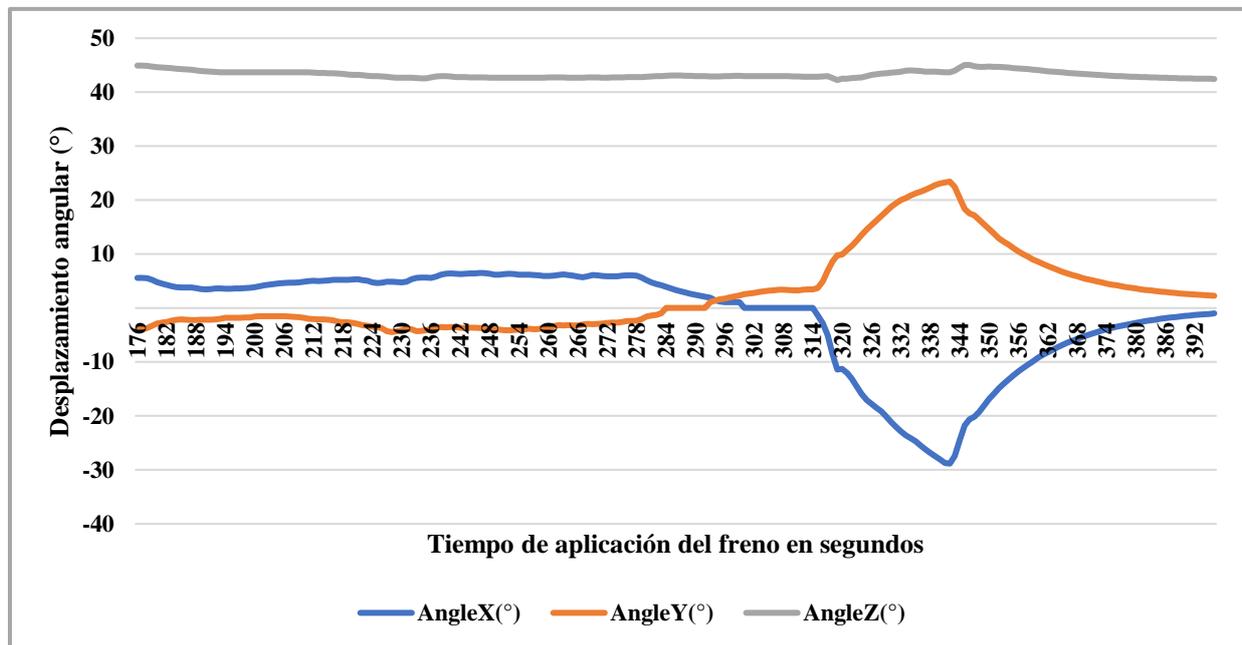
Gráfica de la Velocidad Angular – Pastillas IAM con Carga



En la gráfica se puede apreciar que el eje X (pitch) registra que debido a la desaceleración el vehículo se inclina de manera agresiva, sin embargo, esto solo dura un instante, ya que las prestaciones de las pastillas IAM no son las adecuadas y por ello no mantiene de manera uniforme la inclinación que debe sufrir el vehículo, en el caso del eje Z (yaw) se registra un leve cambio en la orientación del vehículo en sentido izquierdo relacionado al derrape que sufrió el vehículo. En el caso del eje Y (roll) este registra una inclinación sobre el lateral derecho del carro.

Figura 64

Gráfica de Desplazamiento Angular - Pastillas IAM con Carga



En esta gráfica que registra el desplazamiento angular que sufre el vehículo durante el frenado con el aumento de su masa, se puede apreciar que por efecto de la desaceleración el vehículo se inclina sobre su eje X (pitch); sin embargo, su inclinación no es considerable debido a que las pastillas IAM no generan el suficiente agarre, mientras que en el eje Y (roll) se registra una inclinación sobre el lateral derecho del vehículo indicando derrape producto de un desequilibrio en los ejes. En el caso del eje Z (yaw) este registra el desfase que tiene el vehículo en su avance con respecto al sentido norte.

Tabla 43*Comparativa de los resultados de las pastillas versus el precio de venta*

RESULTADO FINAL DE LAS PRUEBAS			
	OEM	OE	IAM
RESULTADO PROMEDIO PASTILLAS SIN CARGA			
Tiempo de frenado	0:00:02,00	0:00:02,27	0:00:02,53
Distancia de frenado (m)	25,03	28,23	31,62
Aceleración (eje Y)	- 0,6 g	- 0,6 g	- 0,6 g
Velocidad angular (Roll)	40 °/S	14 °/s	26 °/S
Desplazamiento angular (Pitch)	40°	36°	30°
RESULTADO PROMEDIO PASTILLAS CON CARGA			
Tiempo de frenado	0:00:02,64	0:00:02,66	0:00:02,97
Distancia de frenado (m)	33,01	33,28	37,10
Aceleración (eje Y)	- 1 g	- 1 g	- 0,6 g
Velocidad angular (Roll)	60 °/s	80 °/S	100 °/s
Desplazamiento angular (Pitch)	50°	40°	30°
PRECIO DE LAS PASTILLAS EN EL MERCADO ECUATORIANO			
P.V.P. Pastillas delanteras	\$98,00	\$60,00	\$45,00
P.V.P. Pastillas posteriores	\$64,00	\$17,77	\$12,00
COEFICIENTE DE FRICCIÓN			
VALOR (μ)	FF	FF	FF
	0.35	0.35	0.35

En la tabla anterior se puede apreciar las estadísticas de cada pastilla durante la aplicación del freno en condiciones severas y en relación a su costo de adquisición. Las pastillas originales (OEM) poseen las prestaciones y criterios de diseño necesarios para que el sistema de frenos funcione de forma correcta en cualquier condición. Así como también el material con la que están construidas posee el coeficiente de fricción necesario para responder en momentos de emergencia.

Por el contrario, las pastillas de recambio original (OE) de proveedores de partes originales de la marca las cuales están relacionadas a un diseño similar al del original se diferencian desde el tipo de material empleado, este tipo de pastillas están construidas con componentes bimetálicos, los cuales por el exceso de temperatura se ve afectado su coeficiente de fricción.

En el caso de las pastillas de fabricantes de partes genéricas o alternativas, al utilizar un concepto de diseño basado en ingeniería inversa, crean su propia formulación para la construcción del forro frenante, el mismo posee estadísticas no tan favorables para condiciones de manejo severas, por lo que durante un evento de alta exigencia no responden de forma eficaz y pueden representar un riesgo.

Los resultados de las pastillas IAM y OE en relación a las pastillas OEM, nos permiten apreciar que cada pastilla reacciona de manera diferente a la alta exigencia durante la acción de frenado, sin embargo es necesario tener en cuenta que esto no significa que las pastillas sean malas, no cumplan con su deber o con las especificaciones de la SAE, u otros organismos de control, si no que nos permite entender que debemos elegir el tipo de pastilla dependiendo de las exigencias de manejo, como también el uso que se le va a dar al vehículo.

Si el vehículo es utilizado para movilización interna dentro de una ciudad y respetando los límites de velocidad las IAM por el costo pueden ser empleadas sin problemas, sin embargo si el vehículo se utiliza adicionalmente para viajes en carreteras planas como las hacia la costa; se pueden emplear sin problema las pastillas OE, mientras que se debe tener en cuenta que las OEM deben ser la primera opción si el vehículo se utiliza para todo tipo de situación y carreteras o si la exigencia de manejo es agresiva.

En el mercado de partes existen opciones de alto performance, en las cuales se pueden encontrar pastillas de freno de alto rendimiento y que sus prestaciones son mayores a las OEM, estas tienen un costo mayor que puede rondar desde los \$250 y normalmente vienen acompañadas de modificaciones

Conclusiones

Durante el desarrollo de este proyecto fue importante la aplicación de dispositivos de monitoreo y el uso de la IA, ya que con ello se consiguió completar cada uno de los objetivos de la investigación, así mismo el uso de las normas SAE, misma que brindó directrices claras para su desarrollo.

Las pastillas OEM, OE e IAM, presentan diferencias significativas con relación al rendimiento del sistema de frenos en momentos de emergencia, las originales de la marca permiten tener las mejores estadísticas con relación a las OE; que presentan estadísticas similares a las IAM.

El aumento de peso afecta de forma directa el rendimiento del sistema de frenos, sin importar el tipo de pastilla de freno que se utilice en el vehículo. Por ello es necesario respetar los lineamientos o especificaciones del vehículo.

El que se utilice la mejor pastilla de freno no garantiza que el vehículo frene sin importar la situación a la que se está sometiendo el vehículo, ya que hay condiciones como las climatológicas que influyen de gran manera en el rendimiento del sistema de frenos.

Recomendaciones

Se recomienda emplear dispositivos de monitoreo; los mismos permiten mediante la recolección de datos, poder interpretar el comportamiento de un determinado objeto de forma específica y clara. Permitiendo comparar con exactitud las muestras recolectadas. También se recomienda el uso de la IA, ya que esta te brinda un apoyo como generador de ideas objetivas durante el desarrollo de una investigación.

Realizar futuras investigaciones con relación a otros componentes de las distintas categorías; OEM, OE e IAM, del vehículo que pueden alterar el funcionamiento de sus sistemas, como también en la seguridad de sus ocupantes durante una situación de emergencia.

Se sugiere analizar el impacto del sistema de suspensión de un vehículo sobre el rendimiento del sistema de frenos cuando este está en mal estado o se exceden los pesos y capacidades del vehículo, y que esto puede ayudar a concientizar la importancia de respetar los límites de carga y seguir los planes de mantenimiento del vehículo.

Se aconseja que durante la realización de proyectos en los cuales se obtendrán una gran cantidad de datos, se utilice el programa Excel ya que este permite poder almacenarlos de forma adecuada y luego poder organizar la información en tablas. Así mismo se puede hacer uso de esquemas que ayuden durante el análisis de los resultados obtenidos.

Bibliografía

- A Paccar Company. (2013). Manual de Servicio del Sistema de Aire. Obtenido de https://delikesar.life/product_details/93602251.html
- Alvarenga Álvares, B., & Ribeiro Da Luz, A. (1983). *FÍSICA GENERAL Con Experimentos Sencillos*. México : HARLA. Recuperado el 15 de julio de 2023
- Arroyo San Juan, C. (1996). *Los Frenos en el Automóvil* (Segunda ed.). España: Grupo Editorial Ceac.
- Borja, C. J., Fenoll, J., & Seco de Herrera, J. (2008). *Sistemas de Transmisión y Frenado*. Macmillan Profesional.
- Borja, C., Fenoll, J., & Seco, J. (2008). Revista Electromecánica. Recuperado el 2023
- Bosch. (2005). *Manual de la técnica del automóvil*. BOSCH company. Recuperado el 28 de Diciembre de 2024, de https://www.google.com.ec/books/edition/Manual_de_la_t%C3%A9cnica_del_autom%C3%B3vil/lvDitKK11SAC?hl=es-419&gbpv=1
- Bridgestone Americas Tire Operations. (1 de Abril de 2021). *Bridgestone*. Recuperado el 26 de Diciembre de 2024, de Pastillas de freno cerámicas versus semimetálicas, ¿cuál es la diferencia?: <https://www.bridgestonetire.com/learn/maintenance/ceramic-vs-metallic-brake-pads/#>
- Built your own car. (s.f.). Obtenido de <https://www.buildyourownracecar.com/race-car-suspension-basics-and-design/>
- Club Niva. (11 de julio de 2017). *Club Niva*. Obtenido de <https://clubniva.com/foro/suspension-frenos-y-direccion/3711-freno-de-mano.html>
- Day, A. (2014). *Braking of Road Vehicles* (Vol. 1). Oxford: ELSEVIER Inc. Recuperado el 15 de Noviembre de 2023, de

https://www.google.com.ec/books/edition/Braking_of_Road_Vehicles/6TA3AAAAQBAJ?hl=es-419&gbpv=1&dq=Braking+of+Road+Vehicles&printsec=frontcover

Diario Motor. (s.f.). *Diario Motor*. Recuperado el 2024, de <https://www.diarimotor.com/que-es/sistema-frenos-elementos/>

Domínguez Soriano, E., & Ferrer Ruiz, J. (2018). *Sistemas de Transmisión y Frenado*. Editex.

Física Termodinámica. (s.f.). Recuperado el 12 de enero de 2024, de <https://luzmpena.wordpress.com/mecanica-de-fluidos/principio-de-pascal/>

Frenkit. (2023). Obtenido de <https://blog.frenkit.es/es/ventajas-freno-de-mano-electrico>

Giancoli, D. C. (2006). *Física Principios con Aplicaciones* (Sexta ed., Vol. I). México: Pearson Educación.

Greek, J. (2018). *Inteligencia Artificial: Computadores y Máquinas inteligentes*. (A. Jiménez, Trad.) New York: The Rosen Publishing Group. Recuperado el 15 de Febrero de 2024

Hyundai. (2009). Obtenido de <https://www.manual.ec/hyundai/santa-fe-2009/manual>

Jazar, R. (2017). *Vehicle Dynamics: Theory and Application* (3ra edición ed.). Cham, Suiza: Springer. Recuperado el 27 de enero de 2024

La Vanguardia. (2019). Karl Benz y la creación del primer automóvil. *La Vanguardia*, 1. Obtenido de <https://www.lavanguardia.com/historiayvida/historia-contemporanea/20191125/471783996973/karl-benz-automovil.html#foto-2>

Lozano, R. (5 de Mayo de 2020). *Talos Electronic*. Obtenido de Medir temperatura con termopar tipo K y MAX6675: <https://www.taloselectronics.com/blogs/tutoriales/medir-temperatura-con-termopar-tipo-k-y-max6675>

Lucendo, J. (2019). *Las Edades del Automóvil: Historia del Automóvil*. Jorge Lucendo.

- Malo Córdova, M., Ullauri Ugalde, M., & Vera Reino, J. (2021). Modelo de intención de compra aplicado al sector de Vehículos de Transporte Liviano – Taxis (VTLT). *Innova Research Journal*, 160. <https://doi.org/10.33890>
- Martí Parera, A. (1993). *Frenos ABS*. Barcelona, España: Marcombo. Obtenido de https://www.google.com.ec/books/edition/Frenos_ABS/uYxvxFmzvPgC?hl=es-419&gbpv=1&dq=sistemas+abs+DEFINICION&printsec=frontcover
- Morán, G. (Febrero de 2022). *Repositorio UIDE*. Recuperado el 2024, de Diseño y construcción de un banco de emulación de estados de funcionamiento y comprobación de unidades de control electrónico de motor ECM usando Arduino: <https://repositorio.uide.edu.ec/handle/37000/5072>
- Moreno Medina, C., & Flores Nicolalde, B. (2014). *FÍSICA Teoría y Problemas*. Guayaquil: Poligráfica. Recuperado el 27 de 07 de 2023
- Motor. (Diciembre de 2023). *Motor*. Obtenido de <https://www.motor.com.co/industria/Carros-con-airbags-y-ABS-a-partir-de-mayo-20170120-0006.html>
- Ordoñez Vernaza, C. (2022). *Repositorio UIDE*. Obtenido de Pruebas Mecatrónicas en Frenómetro según Parámetros de Revisión Técnica Vehicular. Caso de Estudio Chevrolet Aveo Family: <https://repositorio.uide.edu.ec/handle/37000/5625>
- Ou, Y., Yang, D., Xiangpeng, P., Zhang, M., Zhong, W., & Ma, L. (2024). Investigación sobre las propiedades de fricción y desgaste de los materiales de freno de las microfurgonetas logísticas de nueva energía en diferentes condiciones de temperatura y humedad ambiente. *ELSEVIER*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.wear.2024.205511>
- Queensland Government. (2016). *Distancias de frenada: velocidad y frenada (traducido)*. Queensland Government. Recuperado el 5 de Enero de 2024, de <https://www.qld.gov.au/transport/safety/road-safety/driving-safely/stopping-distances>

- SAE. (2009). *Stopping Distance Test Procedure*. Obtenido de https://www.sae.org/standards/content/j299_200901/
- SAE. (2018). Light Vehicle Dry & Wet Stopping Distance Test Procedure. Obtenido de https://www.sae.org/standards/content/j2909_201806/
- SAE. (2022). *SAE*. Obtenido de Vehicle Dynamics Terminology J670: https://www.sae.org/standards/content/j670_202206/
- Smith, S. (1997). *The Scientist and Engineer's Guide to Digital Signal Processing*. San Diego: California Technical Publishing. Recuperado el 27 de Diciembre de 2023
- Society of Automotive Engineers. (26 de Octubre de 2021). *Society of Automotive Engineers*. Obtenido de https://www.sae.org/standards/content/j661_202110/
- Strand, T. (2024). *Mesothelioma.com*. Recuperado el 30 de Septiembre de 2023, de Amianto: <https://www.mesothelioma.com/asbestos-exposure/what-is-asbestos/>
- TIPLER, P., & MOSCA, G. (2003). *Física PARA LA CIENCIA Y LA TECNOLOGÍA*. Barcelona: Reverté. Recuperado el 27 de 07 de 2023
- Tripler, P., & Mosca, G. (2003). *Física para la Ciencia y Tecnología*. España: Reverté. Obtenido de https://www.google.com.ec/books/edition/F%C3%ADsica_para_la_ciencia_y_la_tecnolog%C3%ADa/9MFLe5mAtMC?hl=es-419&gbpv=1&dq=leyes+de+movimiento+de+newton&pg=PA79&printsec=frontcover
- WAGNER. (2020). *WAGNER*. Recuperado el 20 de Diciembre de 2023, de ¿Cuáles son las mejores pastillas de freno para comprar?: <https://www.wagnerbrake.mx/parts-matter/automotive-repair-and-maintenance/best-brake-pads-to-buy.html#:~:text=Debido%20a%20su%20composici%C3%B3n%20org%C3%A1nica,%20pueden%20producir%20polvo.>

WitMotion. (s.f.). *WitMotion*. Obtenido de <https://m.media-amazon.com/images/I/81dW2zuBOeL.pdf>

Anexos

Anexo A: Código de Programación Arduino y Termo par

```

#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 20, 4);
#include <SPI.h>
#define MAX6675_SO 2
#define MAX6675_CS 3
#define MAX6675_SCK 4
void setup()
{
  lcd.init();
  lcd.backlight();
  lcd.setCursor(5, 1);
  lcd.print("Bienvenido");
  delay(1500);
  lcd.clear();
  Serial.begin(9600); // Inicializa la comunicación por el puerto serie a 9600 baudios
}
void loop()
{
  float temperatura = leer_termopar();
  lcd.setCursor(2, 1);
  lcd.print("Termopar disco 2");
  lcd.setCursor(7, 2);
  lcd.print(temperatura, 2);
  Serial.print(temperatura); // Envía la temperatura por el puerto serie
  Serial.println(); // Agrega una línea en blanco
  delay(1000); // Espera 1 segundo antes de enviar la siguiente lectura
}
double leer_termopar()
{
  uint16_t v;
  pinMode(MAX6675_CS, OUTPUT);
  pinMode(MAX6675_SO, INPUT);
  pinMode(MAX6675_SCK, OUTPUT);

  digitalWrite(MAX6675_CS, LOW);
  delay(1);
  // Read in 16 bits,
  // 15 = 0 always
  // 14..2 = 0.25 degree counts MSB First
  // 2 = 1 if thermocouple is open circuit
  // 1..0 = uninteresting status
  v = shiftIn(MAX6675_SO, MAX6675_SCK, MSBFIRST);
  v <<= 8;
  v |= shiftIn(MAX6675_SO, MAX6675_SCK, MSBFIRST);
  digitalWrite(MAX6675_CS, HIGH);
  if (v & 0x4)
  {
    // Bit 2 indicates if the thermocouple is disconnected
    return NAN;
  }
}

```

```
}  
// The lower three bits (0,1,2) are discarded status bits  
v >>= 3;  
// The remaining bits are the number of 0.25 degree (C) counts  
return v * 0.25;  
}
```

Anexo B: Código de Programación Arduino y transductor de presión

```

#include "Wire.h" //allows communication over i2c devices
#include "LiquidCrystal_I2C.h" //allows interfacing with LCD screens

const int pressureInput = A0; //select the analog input pin for the pressure transducer
const int pressureZero = 102.4; //analog reading of pressure transducer at 0psi
const int pressureMax = 921.6; //analog reading of pressure transducer at 100psi
const int pressuretransducermaxPSI = 100; //psi value of transducer being used
const int baudRate = 9600; //constant integer to set the baud rate for serial monitor
const int sensorreadDelay = 250; //constant integer to set the sensor read delay in milliseconds

float pressureValue = 0; //variable to store the value coming from the pressure transducer

LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 20, 4); //sets the LCD I2C communication address;
format(address, columns, rows)

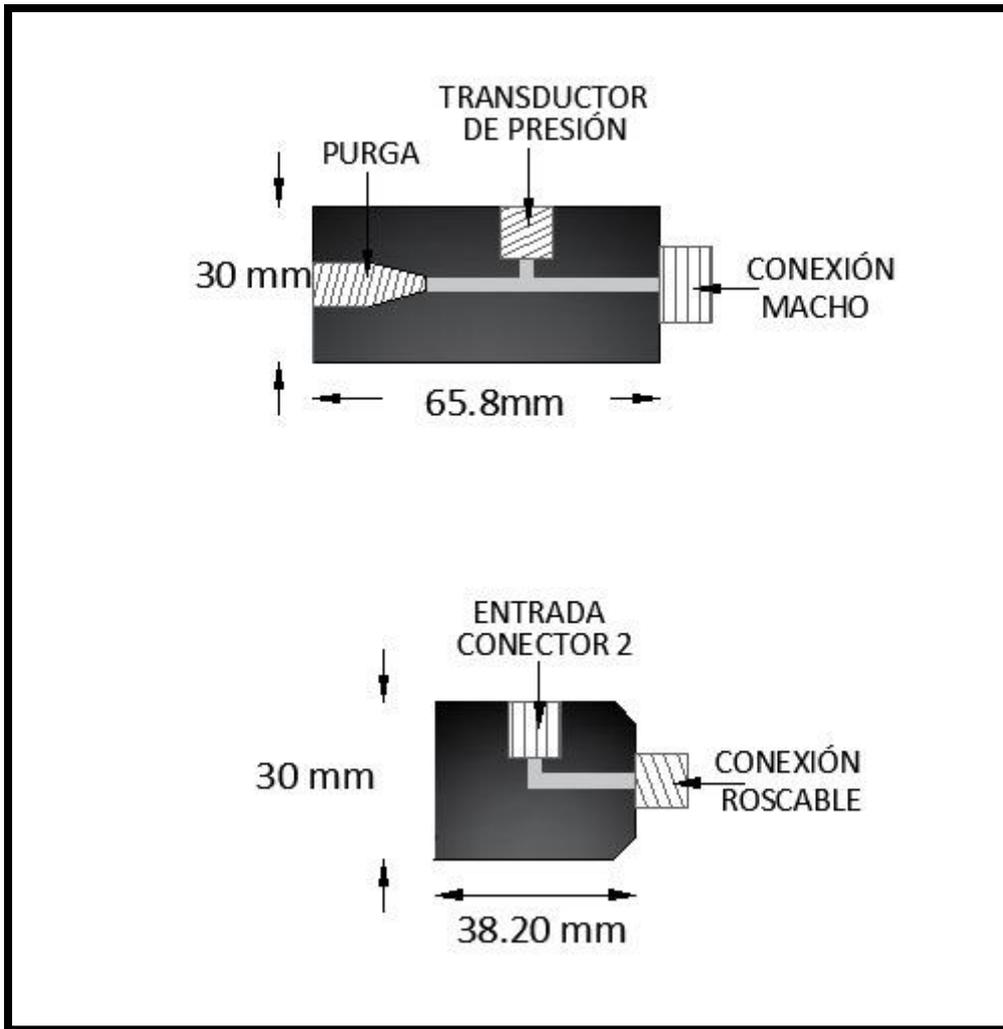
void setup() //setup routine, runs once when system turned on or reset
{
  Serial.begin(baudRate); //initializes serial communication at set baud rate bits per second
  lcd.begin(20,2); //initializes the LCD screen
}

void loop() //loop routine runs over and over again forever
{
  pressureValue = analogRead(pressureInput); //reads value from input pin and assigns to
variable
  pressureValue = ((pressureValue-pressureZero)*pressuretransducermaxPSI)/(pressureMax-
pressureZero); //conversion equation to convert analog reading to psi
  Serial.print(pressureValue, 1); //prints value from previous line to serial
  Serial.println("psi"); //prints label to serial
  lcd.setCursor(0,0); //sets cursor to column 0, row 0
  lcd.print("Pressure:"); //prints label
  lcd.print(pressureValue, 1); //prints pressure value to lcd screen, 1 digit on float
  lcd.print("psi"); //prints label after value
  lcd.print(" "); //to clear the display after large values or negatives
  delay(sensorreadDelay); //delay in milliseconds between read values
}

// Code End

```

Anexo C: Boceto de diseño de acople para anexar el transductor de presión a la mordaza



Anexo D: Transductor y termopar instalados en el caliper o mordaza y el termopar en la pastilla

