



ING. AUTOMOTRIZ

Trabajo integración Curricular previa a la obtención del título de Ingeniería en Mecánica Automotriz

Autores:

Víctor Hugo Herdoiza Cepeda

Hugo Stephano Banda Hidalgo

Tutor:

Ing. Juan Fernando Iñiguez
Izquierdo

Análisis de la eficiencia de frenado ABS respecto a la
presión de neumáticos, considerando carga, velocidad,
coeficiente de fricción y tecnología.

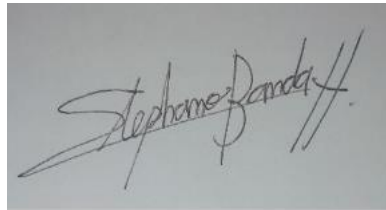
CERTIFICACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros, Víctor Hugo Herdoiza Cepeda y Hugo Stephano Banda Hidalgo, declaramos bajo juramento, que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido presentado anteriormente para ningún grado o calificación profesional y que se ha consultado la bibliografía detallada.

Cedemos nuestros 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, su reglamento y demás disposiciones legales.



Víctor Hugo Herdoiza Cepeda



Hugo Stephano Banda Hidalgo

APROBACIÓN DEL TUTOR

Yo, Juan Fernando Iñiguez Izquierdo, certifico que conozco a los autores del presente trabajo, siendo el responsable exclusivo tanto de su originalidad y autenticidad, como de su contenido.

Firma profesor

DEDICATORIA

Víctor Hugo Herdoiza Cepeda

Es de mi mayor orgullo dedicar este arduo trabajo hecho con mi esfuerzo propio a mis padres, puesto que, es gracias a ellos que pude aprender el valor de la responsabilidad, dedicación y discernimiento a lo largo de mi trayecto en la formación de mi perfil personal. Gracias a ellos soy el hombre que soy el día de hoy, orgulloso en lo que me he convertido y en todo el trayecto de mi vida hasta este momento.

Ellos son el motor de mi vida y es por mi y por ellos que hoy puedo decir que formo mi futuro en la industria automotriz aplicando todas las enseñanzas de mis amados padres.

¡Este trabajo es por ustedes!

Hugo Stephano Banda Hidalgo

Quiero dedicar este trabajo a mis padres ya que ellos fueron la razón principal por lo que tuve la oportunidad de estudiar esta carrera que tanto amo y que me puedo sentir orgullo de decir que tras todo mi esfuerzo y el de ellos, pude terminar un gran sueño.

También quiero dedicar este trabajo a mis amigos los cuales fueron las personas con las que pude pasar todo este tiempo y poder vivir una de las mejores etapas de mi vida con muchas experiencias y recuerdos que los llevare de aquí en adelante en mi vida.

AGRADECIMINETO

Víctor Hugo Herdoiza Cepeda

Doy un gran agradecimiento muy especial a toda mi familia por el esfuerzo y confianza que han puesto sobre mi toda mi vida brindando el valioso regalo de la educación el cual pudo formarme como la gran persona que soy el día de hoy. Ha sido un camino largo y para nada fácil, sin embargo, gracias a mi esfuerzo junto con el de mi familia he logrado salir adelante labrando mi futuro en la vida.

Estoy agradecido con mis docentes, que, desde mi paso por el colegio hasta mi recta final en la UIDE, gracias a sus enseñanzas, experiencias y consejos, lograron educarme y formar mi desarrollo personal.

A mi tutor de tesis, Juan Fernando Iñiguez, le agradezco por su interés en mi tesis desde el momento cuando le presenté mi tema hasta el día en que le mostré mis últimos resultados en una etapa tan avanzada de la carrea. Agradezco su dedicación y sus enseñanzas las cuales me son de gran ayuda el día de hoy en la carrera que me desempeño.

Y agradezco a Dios sobre todas las cosas ya que el me dio el regalado la vida brindándome una buena salud, una buena estabilidad social y la oportunidad de haber estudiado una profesión que me apasiona junto con mi título universitario.

Hugo Stephano Banda Hidalgo

Agradezco especialmente a mis padres por todo el esfuerzo que hicieron para que yo pudiera ser el hombre que soy ahora, por darme la educación y la comodidad que me ayudo con mi formación como persona.

Agradezco también a todos mis docentes de la universidad los cuales fueron los responsables de darme el conocimiento necesario para poder ser un excelente profesional y sobre todo prepararme para una vida laboral exitosa.

Y por último agradezco a Dios el cual fue parte de todo este proceso apoyándome y dándome la fuerza y valor para afrontar todos los altos y bajos de mi vida hasta este momento.

Índice de contenidos

CERTIFICACIÓN DE AUTORÍA	2
APROBACIÓN DEL TUTOR.....	3
DEDICATORIA.....	4
AGRADECIMINETO	5
RESUMEN.....	7
Introducción.....	8
Marco Teórico	9
Materiales y Métodos	13
Materiales:.....	13
Modelos matemáticos	15
Método:	16
Resultados y Discusión.....	18
Terreno de pruebas 1: Asfalto.....	18
Terreno de pruebas 2: Adoquín	20
Terreno de pruebas 3: Cemento	22
Coeficientes de fricción.....	24
Coeficiente de correlación de Pearson	25
Discusión	30
Conclusiones.....	32
Bibliografía	33
Anexos	35

ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA DE FRENADO ABS RESPECTO A LA PRESIÓN DE NEUMÁTICOS, CONSIDERANDO CARGA, VELOCIDAD, COEFICIENTE DE FRICCIÓN Y TECNOLOGÍA.

Ing. Juan Fernando Iñiguez. MSc¹, Stephano Banda H..³, Hugo Herdoiza C..⁴

¹ Magíster en Gerencia y Liderazgo Educacional – Universidad Internacional del Ecuador, Ingeniero Automotriz, jiniguez@uide.edu.ec, Quito – Ecuador

³ Ingeniería Automotriz Universidad Internacional del Ecuador, hubandahi@uide.edu.ec, Quito - Ecuador

⁴ Ingeniería Automotriz – Universidad Internacional del Ecuador, viherdoizace@uide.edu.ec, Quito – Ecuador

RESUMEN

Introducción: El siguiente estudio analiza cómo la presión de los neumáticos afecta la eficiencia del sistema de frenos ABS considerando factores como la velocidad, la carga del vehículo y el tipo de terreno, ya que una presión incorrecta puede aumentar la distancia de frenado. **Marco teórico:** El sistema ABS evita el bloqueo de las ruedas y mejora el control al frenar. La eficiencia del frenado depende de la adherencia entre el neumático y el suelo, la velocidad y la distancia de frenado. Esta adherencia varía según el terreno, el clima y la presión de los neumáticos, además de factores como la carga del vehículo, huella de contacto y el coeficiente de fricción. **Metodología:** Se realizaron pruebas prácticas de frenado a 60 km/h en asfalto, adoquín y cemento, midiendo distancias y temperaturas. Luego, se usó el modelo estadístico de Pearson para analizar matemáticamente la relación entre estos datos. **Resultados:** En asfalto, usar 40 PSI logró la frenada más corta; en cambio, en cemento, fue mejor bajar a 32 PSI. En todos los terrenos, llevar más carga incremento mucho la frenada y calentó en exceso las pastillas. Además, el sistema ABS demostró ser mucho más seguro y eficiente que el frenado normal, aunque exige más trabajo a los frenos. **Conclusión:** La presión ideal de las llantas depende directamente de la vía (alta para asfalto, baja para cemento). El sistema ABS es vital para el control, pero el exceso de peso es el factor de mayor riesgo para detener el vehículo a tiempo.

Palabras clave: sistema ABS, presión de neumáticos, distancia de frenado, adherencia, huella de contacto, seguridad vehicular.

ABSTRACT

Introduction: The following study analyzes how tire pressure affects the efficiency of the ABS braking system, considering factors such as speed, vehicle load, and terrain type, since incorrect pressure can increase the braking distance. **Theoretical Framework:** The ABS prevents wheel lock-up and improves control during braking. Braking efficiency depends on the grip between the tire and the ground, the speed, and the braking distance. This grip varies according to the terrain, weather, and tire pressure, as well as factors like the vehicle load, contact patch, and the coefficient of friction. **Methodology:** Practical braking tests were conducted at 60 km/h on asphalt, cobblestone, and cement, measuring distances and temperatures. Then, the Pearson statistical model was used to mathematically analyze the relationship between these data. **Results:** On rough asphalt, using 40 PSI achieved the shortest braking distance; conversely, on smooth cement, it was better to lower it to 32 PSI. Across all terrains, carrying a heavier load significantly increased the braking distance and overheated the brake pads. Furthermore, the ABS proved to be much safer and more efficient than standard braking, although it demands more work from the brakes. **Conclusion:** The ideal tire pressure depends directly on the road surface (high for asphalt, low for cement). The ABS is vital for control, but excessive weight is the highest risk factor when it comes to stopping the vehicle in time.

Keywords: ABS system, tire pressure, braking distance, grip, contact area, vehicle safety.

Introducción

El presente estudio surge de la necesidad de comprender cómo la presión de inflado de los neumáticos afecta la eficiencia de los sistemas de frenos ABS en condiciones reales de operación, particularmente en el contexto urbano de la ciudad de Quito. Si bien el sistema ABS está diseñado para mejorar la seguridad vehicular mediante la prevención del bloqueo de ruedas en frenadas bruscas, su desempeño puede verse comprometido por factores externos como una presión inadecuada en los neumáticos, carga variable del vehículo, velocidad y condiciones del terreno, igualmente, como menciona la Agencia Metropolitana de Quito siempre: “Hay que revisar el estado de los neumáticos ya que estos proporcionan una resistencia adecuada y a su vez, unos vehículos en mal estado pueden ser más probables que debido a sus malas condiciones, ocasionen una pérdida del control del vehículo.” (Agencia Metropolitana de Tránsito Quito, 2022). La falta de conciencia general sobre la presión óptima de inflado representa un riesgo significativo, ocasionando distancias de frenado más largas y menor control del vehículo durante situaciones de emergencia y este problema no solo afecta en la seguridad vial, sino también en el desgaste prematuro de los neumáticos y el deterioro del sistema de frenos, por lo que resulta esencial evaluar experimentalmente su impacto bajo parámetros técnicos y normativos.

El objetivo general de esta investigación es analizar la influencia de la presión de inflado de los neumáticos sobre la eficiencia del frenado de un vehículo con sistema ABS, considerando variables como la carga del vehículo, velocidad, coeficiente de fricción del terreno y tecnología del sistema de frenos. Para lograrlo, se plantean tres objetivos específicos: primero, realizar una investigación bibliográfica que recopile datos técnicos y normativos sobre presiones recomendadas y comportamiento de frenado. Segundo, ejecutar pruebas experimentales en distintos tipos de terreno y con diferentes condiciones de carga siguiendo normas EC13H y CFR 105, registrando distancias de frenado y temperatura de las pastillas de freno. Y tercero, aplicar un análisis estadístico mediante el coeficiente de correlación Pearson para identificar la presión de aire más adecuada que garantice un frenado seguro y eficiente en los escenarios evaluados.

En relación a las presiones de neumáticos de diferentes vehículos se menciona que: “Una reducción en la presión de aire establecida del neumático mantiene en contacto con la superficie de rodamiento los extremos de la banda, lo cual provoca una disminución en su capacidad de carga junto con un desgaste prematuro en las paredes del mismo incrementando la temperatura de la llanta debido a la excesiva flexión provocada lo cual puede ocasionar un desprendimiento de las capas que conforman la estructura del neumático.” (Monge & Sibaja, 2014). Las distintas presiones de aire de neumáticos se pueden encontrar en tablas las cuales explican detalladamente diferentes características del neumático tales como su grado de presión en PSI el cual posee cada tipo de neumático en base al tamaño y tipo de neumático: “La presión indicada del PSI deberá ser respetada en función al número de pasajeros y carga del vehículo, de acuerdo con la indicación especificada.” (Ochoa, Cabrera, & Ortega, 2012). Esta información técnica permite establecer los valores de presión más adecuados para las pruebas, asegurando coherencia entre las condiciones de laboratorio y las de operación real.

Debido a esto para las pruebas de ensayo es muy importante tener en cuenta el tamaño del vehículo para saber en qué categoría este está ubicado en las tablas de presiones de aire. Con respecto a las pruebas de campo van en relación a lo que nos dice El Reglamento de la Ley Orgánica de Transporte Terrestre, Tránsito y Seguridad Vial, en el artículo 172 que menciona: “El labrado mínimo de un neumático es de 1,6mm, y su presión deberá ser diferente con respecto al neumático que el vehículo este utilizando.” (Quito informa, 2022). La Norma EC13H explica el tema mediante un enfoque particular automotriz hacia observaciones técnicas analizando los datos obtenidos gracias a las pruebas de laboratorio y de campo a los cuales el vehículo es sometido junto con la carga, velocidad, temperatura, fuerza de frenado y terreno de conducción al cual se le aplique. (Yugsi, Gonzales, Reyes, & Rubio, 2021). La aplicación de estas normas permite que las pruebas se desarrollen bajo condiciones técnicas controladas y comparables con estándares nacionales e internacionales.

Con respecto a la eficiencia de frenado la Norma CFR 105 establece que: “La eficacia de frenado se la puede determinar midiendo la distancia de frenado con respecto a la velocidad inicial del vehículo, para la homologación del vehículo la eficacia de frenado se la podrá descubrir mediante ensayos de pista en laboratorio los cuales se realizaran en distintas condiciones de velocidad y de terreno.” (Sanchez, Acosta, & Rubio, 2022). Para la comparación de resultados diferentes métodos estadísticos serán implementados con el fin de ver diferentes variaciones de resultados. Uno de los métodos de análisis de datos el cual se trata del método de correlación de Pearson explica que: “Es empleado en situaciones donde el investigador busca observar representaciones de la información que logre determinar similitudes o diferencias entre variables.” (Mondragon, 2014). El uso de estos métodos facilita el análisis riguroso de los datos experimentales, permitiendo establecer relaciones claras entre presión de neumáticos y desempeño del sistema de frenado.

Para alcanzar los objetivos propuestos, la investigación se desarrollará en tres fases: teórica, experimental y analítica. En la fase teórica se recopilará información técnica proveniente de manuales del fabricante, normativas nacionales e internacionales, y artículos científicos especializados en sistemas de frenos y presión de neumáticos, esta base documental servirá para establecer parámetros de prueba válidos y comparables. La fase experimental consistirá en la ejecución de pruebas de frenado con un vehículo equipado con ABS (Suzuki Grand Vitara SZ 2.0), donde se variará la presión de inflado de los neumáticos y la carga del vehículo en diferentes tipos de terreno representativos de la ciudad de Quito (pavimento, adoquín y cemento) y durante estas pruebas se utilizarán herramientas de medición como manómetros, velocímetro y cintas métricas para registrar la distancia de frenado y calcular el coeficiente de fricción. Finalmente, en la fase analítica se procesarán los datos obtenidos de las distancias de frenado mediante métodos estadísticos, particularmente el coeficiente de correlación de Pearson, con el fin de determinar patrones de comportamiento y definir la presión óptima que favorezca una respuesta de frenado más eficiente y segura bajo condiciones reales de operación.

Marco Teórico

La seguridad vehicular ha sido un tema muy estudiado, especialmente respecto al sistema de frenos y su comportamiento en distintas condiciones. Uno de los avances más importantes es el sistema ABS, que evita el bloqueo de las ruedas al frenar

bruscamente y mejora el control del vehículo. Para analizar su funcionamiento se consideran la eficacia y la distancia de frenado, que dependen de la velocidad, la carga y el tipo de superficie. El coeficiente de fricción influye directamente, ya que mide la adherencia entre el neumático y el suelo, la cual cambia con la humedad, temperatura y tipo de pavimento. En ciudades como Quito, donde hay asfalto, adoquines y empedrado, esto es especialmente importante. Además, herramientas como la termocupla, el velocímetro y el manómetro permiten medir variables como temperatura, aceleración y presión de neumáticos, lo que ayuda a un mejor análisis. Por último, el coeficiente de correlación de Pearson permite identificar relaciones entre datos como la velocidad y la distancia de frenado, lo cual es útil para mejorar la seguridad del sistema.

El sistema de frenos ABS (Anti-lock Braking System) es un sistema de seguridad activa que evita el bloqueo de las ruedas durante una frenada brusca, permitiendo que sigan girando y manteniendo el control del vehículo. Funciona con sensores que detectan el bloqueo y ajustan la presión del freno automáticamente varias veces por segundo. Mejora la estabilidad y el control, especialmente en superficies secas o húmedas, aunque su desempeño puede variar según el terreno, los neumáticos o la carga. (Parera, 1993)

La eficacia de frenado es la capacidad del sistema de frenos para detener el vehículo de forma rápida y segura en distintas condiciones. Se mide en función de la fuerza de frenado disponible frente a la necesaria para detener el vehículo, considerando peso, velocidad y tipo de superficie. Si se obtiene una eficacia mayor del 79%, significa que la eficacia es aceptable. (Alzallú Soriano, 2016)

El coeficiente de adherencia del neumático se entiende como la fricción entre dos superficies, siendo estas la de goma y la del terreno donde se encuentre el vehículo, ya sea en inercia o en movimiento. El coeficiente de adherencia no es un valor fijo, puesto que depende de distintos factores tales como la temperatura, la presión lo que más influye siendo esto el nivel de deslizamiento que posea el terreno donde los neumáticos del vehículo estén en contacto. (OPONEO, 2010)

La distancia de frenado es el recorrido que hace un vehículo desde que se aplica el freno hasta detenerse completamente. En base a una velocidad inicial y una aceleración constante que disminuye esta velocidad considerándose esta desaceleración. Es fundamental para evaluar la eficiencia del sistema de frenos y prevenir accidentes. (López et al., 2007)

Existen varios factores y variables las cuales pueden influir en la distancia de frenado del vehículo junto con su comportamiento en el terreno donde este se encuentre en movimiento siendo los más comunes la velocidad del vehículo la cual prueba que a una mayor velocidad se encuentre el vehículo en movimiento, mayor será la distancia de frenado que alcanzara el automóvil y por ende sufrirá una reacción diferente de frenado dependiendo las circunstancias de manejo. La segunda variable más influyente en la distancia de frenado es el estado de la carretera/terreno donde se encuentre el vehículo, debido a que, dependiendo el tipo de terreno, la reacción y eficiencia de los frenos del

vehículo varían en mayor o menor medida con respecto a su eficiencia y a su vez alargando la distancia de frenado del vehículo. (Subaru, 2025).

Los frenos son aquellos elementos del vehículo los cuales se encuentran posicionados en relación a los neumáticos, encargados de inhibir el movimiento, son considerados el sistema de seguridad de manejo más importante y una de sus piezas clave. Debido a esto su mantenimiento recomendado cada 25 mil kilómetros es vital para la vida útil del vehículo junto con la prevención de posibles siniestros en la carretera. (MITSUBISHI MOTORS, 2019).

Los Neumáticos del vehículo son piezas de caucho con forma toroidal los cuales forman parte de las ruedas de un automóvil y por lo general suelen estar protegidos por llantas de metal. Dependiendo el país el nivel de labrado de los neumáticos puede variar con el fin de poder ser aceptados legalmente para su uso sin que estos, al estar muy desgastados con respecto al uso que se les dio o a su tiempo de vida útil, puedan hacer que el vehículo patine en la carretera causando un siniestro de tránsito. El nivel recomendado para su uso de labrado o de banda de rodadura de los neumáticos por lo general se encuentra en un rango de 8-9 mm, siendo el límite legal y de seguridad de vehículos ligeros el valor de 1.6 mm y para vehículos pesados el valor de 2 mm. (Tullanta, 2022).

Las Condiciones climatológicas de igual manera afectan no solo a la capacidad de frenado de vehículo, sino a su conducción misma. Si en el caso que llueva, nieva o haya neblina el vehículo puede ser afectado ya sea perdiendo adherencia del labrado con respecto al terreno o evitando una buena visibilidad del camino lo cual puede ocasionar un frenado tardío junto con una mayor distancia de frenado y en el peor de los casos puede ocurrir un siniestro de tránsito que involucre a uno o más vehículos en la carretera. (MUTUAL de seguridad CChC, 2020).

La Huella de contacto de un Neumático con respecto a un terreno se trata de una pequeña porción de la banda de rodadura de un neumático la cual está en contacto directo con el suelo en un momento determinado durante la conducción del vehículo. La huella de contacto con respecto a la distancia de frenado con y sin ABS acoplado es una variable crucial puesto que este es el único punto en la llanta donde se transfiere la fuerza de frenado. Debido a esto un neumático con poco agarre ocasiona una liberación de presión constante, lo cual alarga considerablemente la distancia de frenado reduciendo a su vez el control de la dirección del vehículo en un frenado de emergencia. (Rmotion, 2026).

La suspensión del vehículo es un factor determinante si es que se quiere medir una buena distancia de frenado del mismo, esto es debido a que, si el vehículo posee cargas de peso dentro del mismo, la reacción de los frenos junto con la velocidad del mismo va a permitir que el vehículo alcance una mayor o menor distancia de frenado dependiendo a estos factores que lo influyen en su trayectoria. De igual manera la distancia de frenado puede aumentar hasta un 35% si es que los amortiguadores del vehículo se encuentran en mal estado. (GRUPO HERRES, 2019).

El coeficiente de fricción es representado por la letra μ , mide la resistencia al deslizamiento entre dos superficies. Un valor bajo ($\mu < 0.3$) indica poca adherencia (hielo o pavimento mojado), mientras que un valor alto ($\mu > 0.7$) señala buena tracción (superficie seca). Este coeficiente influye directamente en la distancia de frenado, la estabilidad y la efectividad del ABS. (Caviedes et al., 2019)

Tabla 1

Coeficiente de fricción estándar Rueda vs Tipo de terreno.

Características de la superficie	Tipo	Seca a menos de 50 km/hr		Seca a Más de 50 km/hr		Húmedad a Menos de 50 km/hr		Húmedad a Más de 50 km/hr	
		Desde	Hasta	Desde	Hasta	Desde	Hasta	Desde	Hasta
CONCRETO	Nuevo – liso	0.80	1.20	0.70	1.00	0.50	0.80	0.40	0.75
CONCRETO	Usado	0.60	0.80	0.60	0.75	0.45	0.70	0.45	0.65
CONCRETO	Pulimentado por el tránsito	0.55	0.75	0.50	0.65	0.45	0.65	0.45	0.60
ASFALTO o ALQUITRÁN	Nuevo – liso	0.80	1.20	0.65	1.00	0.50	0.80	0.45	0.75
ASFALTO o ALQUITRÁN	Usado	0.60	0.80	0.55	0.70	0.45	0.70	0.40	0.65
ASFALTO o ALQUITRÁN	Pulimentado por el tránsito	0.55	0.75	0.45	0.65	0.45	0.65	0.40	0.60
ASFALTO o ALQUITRÁN	Con exceso de alquitrán	0.50	0.60	0.50	0.60	0.30	0.60	0.25	0.55
ADOQUÍN	Nuevo – liso	0.75	0.95	0.60	0.85	0.50	0.75	0.45	0.70
ADOQUÍN	Pulimentado por el tránsito	0.60	0.80	0.55	0.75	0.40	0.70	0.40	0.60
PIEDRA COMPACTA	Nuevo – liso	0.75	1.00	0.70	0.90	0.65	0.90	0.60	0.85

Nota: Datos de referencia describo por la AMT de Quito. Fuente:(Warner, 1983)

En Quito predominan tres tipos de superficie: pavimento flexible (asfalto) en vías principales, adoquinado en el centro histórico y empedrado en zonas rurales. Cada tipo de suelo tiene diferentes niveles de adherencia, lo que afecta el rendimiento del frenado, especialmente en curvas, pendientes o frenadas de emergencia. (Burga, 2019)

La presión de los neumáticos se establece según las recomendaciones del fabricante del vehículo, quien determina el valor ideal en función del peso, distribución de carga, tipo de suspensión, rendimiento y seguridad. Esta presión debe medirse en frío y puede variar según las condiciones de carga o el tipo de uso (ciudad, carretera, carga completa). Aunque en el neumático aparece una presión máxima, esta no debe tomarse como referencia, sino solo como límite. Factores como el clima y el tipo de neumático también influyen, y en vehículos modernos, los sensores TPMS ayudan a mantener la presión adecuada. (Presión de Neumáticos | Continental Neumáticos, s. f.)

Tabla 2

Tabla de presiones de neumáticos estándar según el tipo de vehículo y rin

Tipo de Vehículo	Tamaño de Llanta	Presión Recomendada (PSI)
Automóvil Pequeño	13-15 pulgadas	28-36 PSI
Automóvil Mediano	14-17 pulgadas	30-38 PSI
Automóvil Grande	15-18 pulgadas	32-40 PSI
SUV/Camioneta Pequeña	15-17 pulgadas	32-40 PSI
SUV/Camioneta Grande	17-22 pulgadas	35-45 PSI
Vehículos Deportivos	18-20 pulgadas	30-40 PSI
Camión Ligero	16-18 pulgadas	35-60 PSI
Camión Pesado	17-24 pulgadas	50-80 PSI

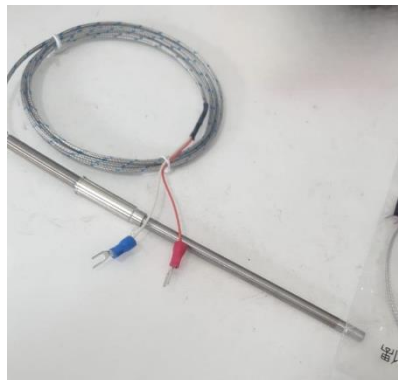
Nota: Datos recopilados de distribuidora de neumáticos. Fuente: (Tullanta.com, 2023)

El coeficiente de correlación de Pearson es una medida estadística que evalúa la relación lineal entre dos variables, representada por la letra r . Su valor va de -1 a 1, indicando correlación negativa, positiva o nula. Se usa en análisis de datos para evaluar, por ejemplo, cómo la carga del vehículo se relaciona con la distancia de frenado. (Universidad de Sevilla. (s.f.))

Materiales y Métodos

Materiales:

Termocupla: Es un sensor que mide temperatura a partir de la diferencia de voltaje entre dos metales distintos. Se usa en ambientes exigentes como motores o maquinaria industrial, ya que ofrece precisión, resistencia y respuesta rápida ante cambios térmicos. (Suárez, 2019). Se utilizó para medir la temperatura de las pastillas de freno después de cada una de las pruebas de frenado.



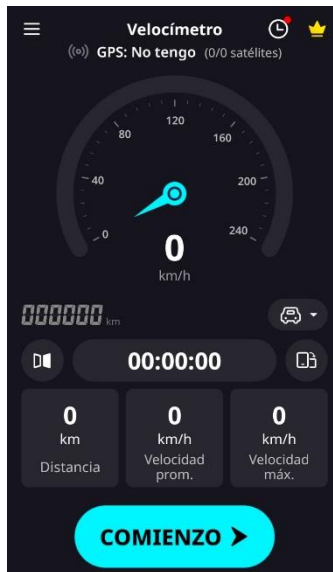
Gráfica 1: Termocupla

Multímetro: Es un dispositivo electrónico que sirve para leer magnitudes eléctricas que expresa como dígitos en una pantalla digital. Esta información es útil para medir y testear diferentes elementos de un sistema eléctrico como corrientes, voltajes, resistencias, entre otros. (Capello, 2023). Este se utilizó para observar la temperatura que se detectaba con la termocupla, a la termocupla al estar conectada al multímetro nos decía los valores de temperatura en grados Celsius.



Gráfica 2: Multímetro automatizado

Velocímetro: Sensor que detecta aceleración y cambios de velocidad. Es clave en sistemas de control de estabilidad y tracción, ya que ayuda a monitorear el comportamiento dinámico del vehículo y ajustar su respuesta ante maniobras bruscas. (Torres & Chablé, 2023). Este se utilizó para medir la velocidad del vehículo de forma más precisa para las pruebas de frenado considerando como velocidad máxima 60km/h.



Gráfica 3: Velocímetro digital

Flexómetro: Es una herramienta de medición que consiste en una cinta flexible y retráctil que está graduada en unidades métricas (centímetros y metros) o imperiales (pulgadas y pies) (Entaban, 2025). Se utilizó para realizar las mediciones de la distancia de frenado desde el punto que se llegó a 60km/h hasta que se detuvo completamente el vehículo.



Gráfica 4: Flexómetro

Manómetro de presión de aire: Dispositivo que mide la presión del aire en los neumáticos, expresada en kgf/cm^2 o bar. Es fundamental para mantener el rendimiento del vehículo, ya que una presión inadecuada puede afectar la estabilidad, el frenado y la seguridad en general. (Kolstad, 2025). Se utilizó para realizar las mediciones de la presión del aire de los neumáticos para hacer pruebas a 40psi, 36psi y 32 psi. Las cuales son las correspondientes para el tipo de vehículo utilizado según la Tabla 2.



Gráfica 5: Manómetro de presión

Modelos matemáticos

Desaceleración

$$a = \frac{(v^2 - u^2)}{2s} \quad \text{Ec. 1}$$

Donde:

- v = Velocidad final
- u = Velocidad inicial
- s = Distancia de frenado

Eficacia de frenado

$$|E| = \frac{a}{g} \times 100 \quad \text{Ec. 2}$$

Donde:

- a = desaceleración
- g = gravedad (9.81m/s²)

Fuerza de fricción

$$Ff = -ma \quad \text{Ec. 3}$$

Donde:

- m= Masa del vehículo dividido entre 4 (neumáticos)
- a= Desaleracion

Fuerza Normal

$$F_N = (m_v + m_p) \times g$$

Donde:

- m_v= Masa del vehículo
- m_p= Masa del pasajero
- g = gravedad (9.81m/s²)

Ec. 4

Coefficiente de fricción

$$\mu = \frac{Ff}{N} \quad \text{Ec. 5}$$

Donde:

- Ff= Fuerza de fricción
- N= Fuerza Normal (Carga del vehículo)

Coefficiente de correlación Pearson

$$r = \frac{N \sum xy - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{[N \sum x^2 - (\sum x)^2][N \sum y^2 - (\sum y)^2]}} \quad \text{Ec. 6}$$

Dónde:

- N = Número de valores o elementos
- $\sum xy$ = la suma de los productos de las puntuaciones emparejadas
- $\sum x$ = la suma de puntuaciones x
- $\sum y$ = la suma de puntuaciones y
- $\sum x^2$ = Suma de cuadrados Puntuación x
- $\sum y^2$ = Suma de cuadrados Puntuación y

Fuerza de la asociación	Coeficiente, r	
	Positiva	Negativa
Chica	.1 a .3	-0.1 a -0.3
Mediana	.3 a .5	-0.3 a -0.5
Grande	.5 a 1.0	-0.5 a 1.0

Figura 1: Interpretación del resultado del coeficiente de correlación Pearson. Fuente: (Dagnino S, 2017)

Método:

Esta investigación sigue un enfoque inductivo porque parte de la observación y recopilación de datos específicos sobre la respuesta de frenado del sistema ABS variando la presión de los neumáticos en distintos terrenos de Quito. Se analizan variables como el coeficiente de fricción, la carga del vehículo, la velocidad y su tecnología para identificar cómo influyen en la distancia y efectividad del frenado. Se buscarán relaciones o comparaciones para generar conclusiones generales sobre el comportamiento del ABS en diferentes condiciones. Y así, el estudio genere conocimiento basado en la experiencia y observación directa, verificando que los resultados sean en base a los datos reales.

En base a la norma CFR 105 se realizan las pruebas de campo en donde se evalúa conocer la variación de la distancia de frenado en base a 3 variables importantes, primero la presión de neumáticos, segundo el frenado con y sin ABS y tercero la carga del vehículo. Este estudio se realizó principalmente realizando una comparación entre varios tipos de terreno, respectivamente (Asfalto, Adoquín y Cemento) en calles totalmente rectas sin inclinación y sin mucho tránsito de vehículos para garantizar la veracidad de los datos y la seguridad de los involucrados en el estudio, se escogieron estos terrenos ya que, tras un análisis se consideró que estos son los más usuales de observar en las calles y carreteras de la ciudad de Quito.

Todo este proceso se repitió realizando una variación en la presión de aire de los cuatro neumáticos tomando en cuenta los datos recomendados respecto al tipo de vehículo “SUV/Camioneta pequeña” que se muestran en la Tabla 2 (40, 36 y 32 PSI), teniendo en cuenta que el tamaño de la llanta del vehículo de prueba era de 16 pulgadas.



Gráfica 6: Variación de la presión de aire de los neumáticos de (40psi, 36psi y 32psi)

Para realizar las pruebas se decidió utilizar un Grand Vitara SZ 2009 2.0, porque su mecánica, peso y centro de gravedad representan el estándar técnico a la categoría de SUV en Ecuador, provocando que los resultados experimentales tengan una aplicación directa en la seguridad vial del país. Y considerando que tiene el sistema ABS pues es perfecto para realizar las distintas comparaciones de este estudio. Para que las pruebas sean lo mas precisas y reales posibles se decidió hacer un cambio de discos, pastillas y neumáticos completamente nuevos.



Gráfica 7: Vehículo de pruebas (Suzuki Grand Vitara SZ 2.0)

Todas las pruebas se realizarán desde 0km/h hasta una velocidad máxima de 60 km/h, en este punto se realizará un frenado brusco de emergencia hasta que se detenga completamente el vehículo. Después de medirán valores de distancia de frenado obtenidas, tomando en cuenta que se realizara una variación de la carga del vehículo con un pasajero (conductor), con 2 pasajeros y finalmente con 3 pasajeros y el maletero ligeramente cargado (10kg aproximadamente). Conjuntamente, se tomarán datos de la temperatura de las pastillas de frenado en cada una de las pruebas, así como el tiempo que se demoran las pastillas en enfriarse a su temperatura normal de funcionamiento que son 70°C aproximadamente. Por cada presión de los neumáticos y cada carga (Carga 1, Carga 2 y Carga 3) en cada uno de los terrenos se repetirán las pruebas 3 veces con el fin de tener más certeza de los datos obtenidos con una ligera variación en los resultados.

Se realizará el cálculo del coeficiente de fricción de las pruebas realizadas, considerando de las 3 veces medidas la distancia mayor por cada una de las cargas y por cada presión de los neumáticos. A continuación, se presenta un ejemplo de cálculo del coeficiente de fricción (en el terreno de asfalto con 40 PSI de presión utilizando la carga 1 y con ABS) tomando en cuenta los modelos matemáticos preestablecidos anteriormente.

Datos:

$$G = 9.81 \text{ m/s}$$

$$\text{Masa del vehículo} = 1480 \text{ kg}$$

$$\text{Velocidad inicial} = 16,67 \text{ m/s}$$

$$\text{Masa del vehículo por neumático} = 370 \text{ kg}$$

Cálculo de la fuerza normal con carga 1:

$$FN = (Mv + 60) \times g$$

$$FN = (1480 + 60) \times 9,81$$

$$FN = 15107,4N$$

Cálculo del coeficiente de fricción:

$$a = \frac{(0^2 - 16,67^2)}{2(9,21)}$$

$$a = -15,086 \frac{m}{s^2}$$

$$Ff = -370(-15,086)$$

$$Ff = 5581,81N$$

$$\mu = \frac{5581,81}{15107,4}$$

$$\mu = 0,36$$

Para el análisis estadístico se utilizará el método del coeficiente de correlación de Pearson, para ver la realización que existe entre las variables de la eficiencia de frenado y la carga del vehículo. A continuación, se muestra un ejemplo de cálculo de la eficiencia de frenado (en asfalto a 40 PSI con carga 1 y con ABS) tomando en cuenta los modelos matemáticos preestablecidos anteriormente.

$$a = \frac{(0^2 - 16,67^2)}{2(9,21)}$$

$$a = -15,086 \frac{m}{s^2}$$

$$|E| = \frac{-15,086}{9,81} \times 100$$

$$|E| = |-153,78\%|$$

Resultados y Discusión

Terreno de pruebas 1: Asfalto

El asfalto es el tipo de terreno que mas se puede observar en las calles de Quito generalmente en avenidas principales, carreteras o calles del centro norte de la ciudad



Gráfica 8: Terreno de pruebas 1 - Calle de Asfalto

A continuación, se observan los resultados obtenidos de la distancia de frenado medida con un flexómetro desde el punto inicial de frenado a 60km/h hasta el punto final con el vehículo totalmente detenido tomando como punto de medida las ruedas delanteras del vehículo.

Tabla 3

Resultados de distancias de frenado en el terreno de Asfalto

40PSI					
ABS			SIN ABS		
Carga 1	Carga 2	Carga 3	Carga 1	Carga 2	Carga 3
9.08m	12.32m	13.43m	11.76m	13.79m	14.21m
8.98m	11.25m	12.96m	12.42m	14.57m	13.78m
9.21m	11.65m	13.67m	11.03m	13.97m	15.02m

36PSI					
ABS			SIN ABS		
Carga 1	Carga 2	Carga 3	Carga 1	Carga 2	Carga 3
11.70m	14.56m	16.22m	13.47m	16.04m	17.48m
10.41m	13.65m	14.46m	13.62m	15.91m	16.84m
11.86m	13.98m	14.83m	14.07m	16.37m	17.71m

32PSI					
ABS			SIN ABS		
Carga 1	Carga 2	Carga 3	Carga 1	Carga 2	Carga 3
12.79m	15.83m	17.26m	13.82m	16.94m	18.09m
12.16m	15.21m	17.50m	14.87m	17.73m	18.73m
13.34m	16.17m	17.81m	13.91m	17.02m	19.24m

Nota: Datos de resultados experimentales de los autores. Fuente: (Autores)

Se observa en el terreno de asfalto que, respecto a la carga del vehículo en cualquiera de las presiones de aire de los neumáticos, la distancia de frenado aumentara a mayor carga. Después, se observa que con la desconexión sistema ABS respecto a cuando esta funcionando el ABS existe una variación de aproximadamente 1 a 2 metros de distancia de frenado mayor. Y por último con respecto a la presión de los neumáticos se observa que mientras mas baja es la presión la distancia de frenado aumentara en cada uno de los casos. La variación de los resultados entre los 3 intentos no fue muy amplia considerando que fue aproximadamente entre 0.20 y 0.80 metros.

Ahora se pueden observar los resultados obtenidos de la temperatura y tiempo de enfriamiento de las pastillas de freno por cada una de las variaciones realizadas.

Tabla 4

Resultados de temperaturas de las pastillas de freno en el terreno de Asfalto.

	40PSI					
	ABS			SIN ABS		
	Carga 1	Carga 2	Carga 3	Carga 1	Carga 2	Carga 3
Temperatura	116°C	120°C	122°C	110°C	114°C	117°C
Tiempo enfriamiento	11:09min	15:24min	17:41min	7:24min	9:49min	12:32min

	36PSI					
	ABS			SIN ABS		
	Carga 1	Carga 2	Carga 3	Carga 1	Carga 2	Carga 3
Temperatura	108°C	111°C	115°C	104°C	109°C	112°C
Tiempo enfriamiento	6:06min	8:27min	10:21min	4:31min	6:54min	8:57min

	32PSI					
	ABS			SIN ABS		
	Carga 1	Carga 2	Carga 3	Carga 1	Carga 2	Carga 3
Temperatura	105°C	109°C	113°C	97°C	102°C	107°C
Tiempo enfriamiento	4:58min	6:51min	9:34min	2:58min	3:38min	5:51min

Nota: Datos de resultados experimentales de los autores. Fuente: (Autores)

Se puede observar que como temperatura máxima de las pastillas de freno fue de 122°C con la mayor presión y carga con el sistema ABS conectado y que la temperatura mínima fue de 97°C con la menor presión y carga con el sistema ABS desconectado. Además, se determinó que mientras más se reduce la presión de los neumáticos de igual manera la temperatura disminuye. Y desconectando el ABS la temperatura respecto a cuando está conectado el ABS disminuye unos 7°C aproximadamente.

Por otra parte, se observa el tiempo de enfriamiento de las pastillas desde la temperatura máxima por prueba hasta la temperatura de funcionamiento normal de 70°C, considerando este tiempo con el vehículo detenido a su totalidad.

Terreno de pruebas 2: Adoquín

El adoquín es uno de los terrenos mas utilizados en calles residenciales o en lugares con poco transito de vehículos. Sin embargo, este se ve muy constantemente en las calles de Quito.



Gráfica 9: Terreno de pruebas 2 - Calle de Adoquín

A continuación, se observan los resultados obtenidos de la distancia de frenado medida con un flexómetro considerando los mismos parámetros de velocidad y de puntos de referencia.

Tabla 5

Resultados de distancias de frenado en el terreno de Adoquín.

40PSI					
ABS			SIN ABS		
Carga 1	Carga 2	Carga 3	Carga 1	Carga 2	Carga 3
11.27m	13.56m	15.92m	14.34m	15.88m	17.05m
11.84m	12.61m	15.22m	14.86m	16.06m	17.49m
10.71m	13.15m	15.01m	13.91m	15.64m	17.27m

36PSI					
ABS			SIN ABS		
Carga 1	Carga 2	Carga 3	Carga 1	Carga 2	Carga 3
12.80m	14.03m	16.72m	16.28m	18.45m	19.37m
12.41m	15.41m	16.31m	17.11m	18.94m	20.04m
11.98m	14.78m	17.53m	16.77m	17.96m	19.79m

32PSI					
ABS			SIN ABS		
Carga 1	Carga 2	Carga 3	Carga 1	Carga 2	Carga 3
15.44m	17.11m	18.93m	18.24m	20.03m	21.42m
15.83m	18.22m	18.76m	19.01m	20.62m	21.94m
14.67m	17.97m	19.44m	18.86m	19.75m	21.04m

Nota: Datos de resultados experimentales de los autores. Fuente: (Autores).

En el terreno de adoquín se observa que, respecto a la carga del vehículo en cualquiera de las presiones de aire de los neumáticos, la distancia de frenado aumentara a mayor carga. Además, se observa que con la desconexión sistema ABS respecto a cuando está funcionando el ABS existe una variación de aproximadamente 2 a 3 metros de distancia de frenado mayor. Y por último con respecto a la presión de los neumáticos se observa que mientras más baja es la presión la distancia de frenado aumentara en cada uno de los casos. La variación de los resultados entre los 3 intentos no fue muy amplia considerando que fue aproximadamente entre 0.20 y 0.80 metros.

Ahora, se pueden observar los resultados obtenidos de la temperatura y tiempo de enfriamiento de las pastillas de freno por cada una de las variaciones realizadas.

Tabla 6

Resultados de temperaturas de las pastillas de freno en el terreno de Adoquín.

	40PSI					
	ABS			SIN ABS		
	Carga 1	Carga 2	Carga 3	Carga 1	Carga 2	Carga 3
Temperatura	89°C	106°C	111°C	79°C	90°C	103°C
Tiempo enfriamiento	2:05min	5:25min	8:31min	0:59min	2:12min	4:05min

	36PSI					
	ABS			SIN ABS		
	Carga 1	Carga 2	Carga 3	Carga 1	Carga 2	Carga 3
Temperatura	82°C	99°C	107°C	76°C	87°C	94°C
Tiempo enfriamiento	1:19min	3:14min	5:48min	0:40min	1:52min	2:38min

	32PSI					
	ABS			SIN ABS		
	Carga 1	Carga 2	Carga 3	Carga 1	Carga 2	Carga 3
Temperatura	78°C	86°C	95°C	72°C	81°C	89°C
Tiempo enfriamiento	0:53min	1:46min	2:45min	0:20min	1:13min	2:05min

Nota: Datos de resultados experimentales de los autores. Fuente: (Autores).

Se puede observar que como temperatura máxima de las pastillas de freno fue de 111°C con la mayor presión y carga con el sistema ABS conectado y que la temperatura mínima fue de 72°C con la menor presión y carga con el sistema ABS desconectado. Además, se determinó que mientras más se reduce la presión de los neumáticos de igual manera la temperatura disminuye. Y desconectando el ABS la temperatura respecto a cuando está conectado el ABS disminuye unos 10°C aproximadamente.

Por otra parte, se observa el tiempo de enfriamiento de las pastillas desde la temperatura máxima por prueba hasta la temperatura de funcionamiento normal, considerando este tiempo con el vehículo detenido a su totalidad.

Terreno de pruebas 3: Cemento

Por otra parte, el cemento es un terreno el cual se esta utilizando en los últimos años en la reconstrucción de calles existentes de Quito, y se le puede ver en algunas calles principales de la ciudad y más comúnmente en las vías de Trolebús.



Gráfica 10: Terreno de pruebas 3 – Calle de Cemento

A continuación, se observan los resultados obtenidos de la distancia de frenado en el terreno de cemento, considerando los mismos parámetros de velocidad y de puntos de referencia.

Tabla 7

Resultados de distancias de frenado en el terreno de Cemento.

40PSI					
ABS			SIN ABS		
Carga 1	Carga 2	Carga 3	Carga 1	Carga 2	Carga 3
11.44m	15.43m	17.22m	13.88m	16.79m	18.56m
11.21m	14.95m	16.85m	14.25m	17.31m	18.12m
11.68m	15.71m	17.54m	13.52m	16.44m	18.89m

36PSI					
ABS			SIN ABS		
Carga 1	Carga 2	Carga 3	Carga 1	Carga 2	Carga 3
10.75m	14.92m	16.83m	12.17m	15.64m	17.94m
10.42m	15.34m	16.48m	11.85m	16.10m	18.35m
11.05m	14.61m	17.15m	12.44m	15.28m	17.62m

32PSI					
ABS			SIN ABS		
Carga 1	Carga 2	Carga 3	Carga 1	Carga 2	Carga 3
10.22m	14.16m	16.24m	11.78m	15.01m	17.19m
10.55m	13.82m	16.71m	12.15m	14.65m	16.84m
9.98m	14.45m	15.91m	11.45m	15.38m	17.51m

Nota: Datos de resultados experimentales de los autores. Fuente: (Autores).

En el terreno de cemento se observa que, respecto a la carga del vehículo en cualquiera de las presiones de aire de los neumáticos, la distancia de frenado aumentara a mayor carga, siguiendo la misma lógica que los demás terrenos. Además, se observa que con la desconexión sistema ABS respecto a cuando está funcionando el ABS existe una variación de aproximadamente 1 a 2 metros de distancia de frenado mayor. Y por último, a diferencia con los demás terrenos respecto a la presión de los neumáticos se observa que mientras más baja es la presión la distancia de frenado disminuirá en cada uno de los casos.

A continuación, se pueden observar los resultados obtenidos de la temperatura y tiempo de enfriamiento de las pastillas de freno por cada una de las variaciones realizadas.

Tabla 8

Resultados de temperaturas de las pastillas de freno en el terreno de Cemento.

	40PSI					
	ABS			SIN ABS		
	Carga 1	Carga 2	Carga 3	Carga 1	Carga 2	Carga 3
Temperatura	114°C	117°C	119°C	108°C	112°C	115°C
Tiempo enfriamiento	9:45min	12:35min	14:12min	6:09min	8:52min	10:25min

	36PSI					
	ABS			SIN ABS		
	Carga 1	Carga 2	Carga 3	Carga 1	Carga 2	Carga 3
Temperatura	105°C	109°C	113°C	102°C	106°C	110°C
Tiempo enfriamiento	5:02min	6:58min	9:31min	3:42min	5:21min	7:28min

	32PSI					
	ABS			SIN ABS		
	Carga 1	Carga 2	Carga 3	Carga 1	Carga 2	Carga 3
Temperatura	102°C	105°C	109°C	94°C	97°C	103°C
Tiempo enfriamiento	3:35min	4:55min	6:49min	2:41min	3:02min	4:09min

Nota: Datos de resultados experimentales de los autores. Fuente: (Autores).

Se determina que como temperatura máxima de las pastillas de freno en este terreno fue de 119°C con la mayor presión y carga con el sistema ABS conectado y que la temperatura mínima fue de 94°C con la menor presión y carga con el sistema ABS desconectado. Estos datos son ligeramente similares a los del asfalto. Además, se determinó que mientras más se reduce la presión de los neumáticos la temperatura disminuye y con la desconexión del ABS la temperatura respecto a cuando está conectado el ABS disminuye unos 7°C aproximadamente.

Coefficientes de fricción

Se realizaron los cálculos del coeficiente de fricción de cada una de las pruebas por cada tipo de terreno y por cada variación de carga y de presión de los neumáticos. Para hacer el calculo de este factor se utilizaron las fórmulas del modelo matemático preestablecido previamente. Y se tomó en consideración para el calculo solamente los resultados de distancia de frenado mas altos respecto a los 3 intentos realizados en las pruebas de frenado. A continuación, se muestran los resultados del coeficiente de fricción.

Asfalto

Tabla 9

Resultados del coeficiente de fricción en base a la distancia de frenado mayor obtenida en Asfalto.

40 PSI					
CON ABS			SIN ABS		
Carga 1	Carga 2	Carga 3	Carga 1	Carga 2	Carga 3
0,37	0,27	0,23	0,27	0,22	0,21
36 PSI					
Carga 1	Carga 2	Carga 3	Carga 1	Carga 2	Carga 3
0,29	0,22	0,19	0,24	0,20	0,18
32 PSI					
Carga 1	Carga 2	Carga 3	Carga 1	Carga 2	Carga 3
0,26	0,20	0,18	0,23	0,18	0,16

Nota: Datos de resultados experimentales de los autores. Fuente: (Autores).

Se puede observar que en el terreno de Asfalto se obtuvo como coeficiente de fricción mayor de 0.36 y menor de 0.16.

Adoquín

Tabla 10

Resultados del coeficiente de fricción en base a la distancia de frenado mayor obtenida en Adoquín.

40 PSI					
CON ABS			SIN ABS		
Carga 1	Carga 2	Carga 3	Carga 1	Carga 2	Carga 3
0,29	0,24	0,20	0,23	0,20	0,18
36 PSI					
Carga 1	Carga 2	Carga 3	Carga 1	Carga 2	Carga 3
0,27	0,21	0,18	0,20	0,17	0,16
32 PSI					
Carga 1	Carga 2	Carga 3	Carga 1	Carga 2	Carga 3
0,21	0,18	0,16	0,18	0,16	0,14

Nota: Datos de resultados experimentales de los autores. Fuente: (Autores).

Se puede observar que en el terreno de Asfalto se obtuvo como coeficiente de fricción mayor de 0.28 y menor de 0.14.

Cemento

Tabla 11

Resultados del coeficiente de fricción en base a la distancia de frenado mayor obtenida en Cemento.

40 PSI					
CON ABS			SIN ABS		
Carga 1	Carga 2	Carga 3	Carga 1	Carga 2	Carga 3
0,29	0,21	0,18	0,24	0,19	0,17
36 PSI					
Carga 1	Carga 2	Carga 3	Carga 1	Carga 2	Carga 3
0,31	0,21	0,18	0,27	0,20	0,17
32 PSI					
Carga 1	Carga 2	Carga 3	Carga 1	Carga 2	Carga 3
0,32	0,23	0,19	0,28	0,21	0,18

Nota: Datos de resultados experimentales de los autores. Fuente: (Autores).

Se puede observar que en el terreno de Asfalto se obtuvo como coeficiente de fricción mayor de 0.32 y menor de 0.16.

Coeficiente de correlación de Pearson

Se realizó un análisis estadístico utilizando el método del coeficiente de correlación de Pearson, en donde se analizó la variación entre las variables de Presión de neumáticos vs Eficiencia de Frenado, considerando los resultados con el sistema ABS conectado y desconectado. Los cálculos de la eficiencia de frenado se realizaron con el modelo matemático establecido previamente, a continuación, se muestran los resultados de la eficiencia de frenado.

Asfalto

Tabla 12

Resultados de la eficiencia de frenado en porcentajes en base a la distancia de frenado mayor obtenida en Asfalto.

40 PSI					
CON ABS			SIN ABS		
Carga 1	Carga 2	Carga 3	Carga 1	Carga 2	Carga 3
153.78%	114.96%	103.61%	114.04%	97.21%	94.30%
36 PSI					
Carga 1	Carga 2	Carga 3	Carga 1	Carga 2	Carga 3
119.42%	97.28%	87.32%	100.66%	86.52%	79.97%
32 PSI					
Carga 1	Carga 2	Carga 3	Carga 1	Carga 2	Carga 3
106.17%	87.59%	79.52%	95.25%	79.88%	73.62%

Nota: Datos de resultados experimentales de los autores. Fuente: (Autores).

En esta tabla se observa la eficiencia de frenado en porcentaje respecto al terreno de asfalto dando una eficiencia máxima de 153.78% y una mínima de 73.62%.

Adoquín

Tabla 13

Resultados de la eficiencia de frenado en porcentajes en base a la distancia de frenado mayor obtenida en Adoquín.

40 PSI					
CON ABS			SIN ABS		
Carga 1	Carga 2	Carga 3	Carga 1	Carga 2	Carga 3
119.62%	104.45%	88.97%	95.31%	88.19%	80.98%
36 PSI					
Carga 1	Carga 2	Carga 3	Carga 1	Carga 2	Carga 3
110.65%	91.91%	80.80%	82.78%	74.78%	70.68%
32 PSI					
Carga 1	Carga 2	Carga 3	Carga 1	Carga 2	Carga 3
89.47%	77.74%	72.86%	74.51%	68.69%	64.56%

Nota: Datos de resultados experimentales de los autores. Fuente: (Autores).

En esta tabla se observa la eficiencia de frenado en porcentaje respecto al terreno de adoquín dando una eficiencia máxima de 119.62% y una mínima de 64.56%.

Cemento

Tabla 14

Resultados de la eficiencia de frenado en porcentajes en base a la distancia de frenado mayor obtenida en Cemento.

40 PSI					
CON ABS			SIN ABS		
Carga 1	Carga 2	Carga 3	Carga 1	Carga 2	Carga 3
121.26%	90.16%	80.75%	99.39%	81.82%	74.98%
36 PSI					
Carga 1	Carga 2	Carga 3	Carga 1	Carga 2	Carga 3
128.18%	92.33%	82.59%	113.85%	87.97%	77.19%
32 PSI					
Carga 1	Carga 2	Carga 3	Carga 1	Carga 2	Carga 3
134.25%	98.02%	84.76%	116.57%	92.09%	80.89%

Nota: Datos de resultados experimentales de los autores. Fuente: (Autores).

En esta tabla se observa la eficiencia de frenado en porcentaje respecto al terreno de cemento dando una eficiencia máxima de 134.25% y una mínima de 74.98%.

Con estos resultados, se procedió a realizar el cálculo del coeficiente de Pearson en base a la formula del modelo matemático establecido, utilizando el programa de Excel para ser más ágil y preciso el cálculo.

Asfalto

Tabla 15

Coeficiente de Pearson en Asfalto con Carga 1 con el sistema ABS activado y desactivado.

CARGA 1 Con ABS					
Numero de datos	Presion de neumatico (x)	Eficiencia de frenado (y)	(xy)	(x^2)	(y^2)
(1) Presion 1	40	153.78	6151.2	1600	23648.2884
(2) Presion 2	36	119.42	4299.12	1296	14261.1364
(2) Presion 3	32	106.17	3397.44	1024	11272.0689
TOTAL	108	379.37	13847.76	3920	49181.4937
Sin ABS					
Numero de datos	Presion de neumatico (x)	Eficiencia de frenado (y)	(xy)	(x^2)	(y^2)
(1) Presion 1	40	114.04	4561.6	1600	13005.1216
(2) Presion 2	36	100.66	3623.76	1296	10132.4356
(2) Presion 3	32	95.25	3048	1024	9072.5625
TOTAL	108	309.95	11233.36	3920	32210.1197

Coeficiente de Pearson
r 0,96876086

Coeficiente de Pearson
r 0,97129912

Nota: Datos de resultados experimentales de los autores. Fuente: (Autores).

Tabla 16

Coeficiente de Pearson en Asfalto con Carga 2 con el sistema ABS activado y desactivado.

CARGA 2 Con ABS					
Numero de datos	Presion de neumatico (x)	Eficiencia de frenado (y)	(xy)	(x^2)	(y^2)
(1) Presion 1	40	114.96	4598.4	1600	13215.8016
(2) Presion 2	36	97.28	3502.08	1296	9463.3984
(2) Presion 3	32	87.59	2802.88	1024	7672.0081
TOTAL	108	299.83	10903.36	3920	30351.2081
Sin ABS					
Numero de datos	Presion de neumatico (x)	Eficiencia de frenado (y)	(xy)	(x^2)	(y^2)
(1) Presion 1	40	97.21	3888.4	1600	9449.7841
(2) Presion 2	36	86.52	3114.72	1296	7485.7104
(2) Presion 3	32	79.88	2556.16	1024	6380.8144
TOTAL	108	263.61	9559.28	3920	23316.3089

Coeficiente de Pearson
r 0,9860922

Coeficiente de Pearson
r 0,99101991

Nota: Datos de resultados experimentales de los autores. Fuente: (Autores).

Tabla 17

Coeficiente de Pearson en Asfalto con Carga 3 con el sistema ABS activado y desactivado

CARGA 3					
Con ABS					
Numero de datos	Presion de neumatico (x)	Eficiencia de frenado (y)	(xy)	(x^2)	(y^2)
(1) Presion 1	40	103,61	4144,4	1600	10735,0321
(2) Presion 2	36	87,32	3143,52	1296	7624,7824
(2) Presion 3	32	79,53	2544,96	1024	6325,0209
TOTAL	108	270,46	9832,88	3920	24684,8354
Sin ABS					
Numero de datos	Presion de neumatico (x)	Eficiencia de frenado (y)	(xy)	(x^2)	(y^2)
(1) Presion 1	40	94,3	3772	1600	8892,49
(2) Presion 2	36	79,97	2878,92	1296	6395,2009
(2) Presion 3	32	73,62	2355,84	1024	5419,9044
TOTAL	108	247,89	9006,76	3920	20707,5953

Coeficiente de Pearson	
r	0,9798583

Coeficiente de Pearson	
r	0,97606998

Nota: Datos de resultados experimentales de los autores. Fuente: (Autores).

Adoquín

Tabla 18

Coeficiente de Pearson en Adoquín con Carga 1 con el sistema ABS activado y desactivado.

CARGA 1					
Con ABS					
Numero de datos	Presion de neumatico (x)	Eficiencia de frenado (y)	(xy)	(x^2)	(y^2)
(1) Presion 1	40	119,62	4784,8	1600	14308,9444
(2) Presion 2	36	110,65	3983,4	1296	12243,4225
(2) Presion 3	32	89,47	2863,04	1024	8004,8809
TOTAL	108	319,74	11631,24	3920	34557,2478
Sin ABS					
Numero de datos	Presion de neumatico (x)	Eficiencia de frenado (y)	(xy)	(x^2)	(y^2)
(1) Presion 1	40	95,31	3812,4	1600	9083,9961
(2) Presion 2	36	82,78	2980,08	1296	6852,5284
(2) Presion 3	32	74,51	2384,32	1024	5551,7401
TOTAL	108	252,6	9176,8	3920	21488,2646

Coeficiente de Pearson	
r	0,97373786

Coeficiente de Pearson	
r	0,99308144

Nota: Datos de resultados experimentales de los autores. Fuente: (Autores).

Tabla 19

Coeficiente de Pearson en Adoquín con Carga 2 con el sistema ABS activado y desactivado.

CARGA 2					
Con ABS					
Numero de datos	Presion de neumatico (x)	Eficiencia de frenado (y)	(xy)	(x^2)	(y^2)
(1) Presion 1	40	104,45	4178	1600	10909,8025
(2) Presion 2	36	91,91	3308,76	1296	8447,4481
(2) Presion 3	32	77,74	2487,68	1024	6043,5076
TOTAL	108	274,1	9974,44	3920	25400,7582
Sin ABS					
Numero de datos	Presion de neumatico (x)	Eficiencia de frenado (y)	(xy)	(x^2)	(y^2)
(1) Presion 1	40	88,19	3527,6	1600	7777,4761
(2) Presion 2	36	74,78	2692,08	1296	5592,0484
(2) Presion 3	32	68,69	2198,08	1024	4718,3161
TOTAL	108	231,66	8417,76	3920	18087,8406

Coeficiente de Pearson	
r	0,99937989

Coeficiente de Pearson	
r	0,97731065

Nota: Datos de resultados experimentales de los autores. Fuente: (Autores).

Tabla 20

Coeficiente de Pearson en Adoquín con Carga 3 con el sistema ABS activado y desactivado.

CARGA 3					
Con ABS					
Numero de datos	Presion de neumatico (x)	Eficiencia de frenado (y)	(xy)	(x^2)	(y^2)
(1) Presion 1	40	88,97	3558,8	1600	7915,6609
(2) Presion 2	36	80,8	2908,8	1296	6528,64
(2) Presion 3	32	72,86	2331,52	1024	5308,5796
TOTAL	108	242,63	8799,12	3920	19752,8805
Sin ABS					
Numero de datos	Presion de neumatico (x)	Eficiencia de frenado (y)	(xy)	(x^2)	(y^2)
(1) Presion 1	40	80,98	3239,2	1600	6557,7604
(2) Presion 2	36	70,68	2544,48	1296	4995,6624
(2) Presion 3	32	64,56	2065,92	1024	4167,9936
TOTAL	108	216,22	7849,6	3920	15721,4164

Coeficiente de Pearson	
r	0,99996603

Coeficiente de Pearson	
r	0,98937112

Nota: Datos de resultados experimentales de los autores. Fuente: (Autores).

Cemento

Tabla 21

Coeficiente de Pearson en Cemento con Carga 1 con el sistema ABS activado y desactivado.

CARGA 1					
Con ABS					
Numero de datos	Presion de neumatico (x)	Eficiencia de frenado (y)	(xy)	(x^2)	(y^2)
(1) Presion 1	40	121,26	4850,4	1600	14703,9876
(2) Presion 2	36	128,18	4614,48	1296	16430,1124
(2) Presion 3	32	134,25	4296	1024	18023,0625
TOTAL	108	383,69	13760,88	3920	49157,1625
Sin ABS					
Numero de datos	Presion de neumatico (x)	Eficiencia de frenado (y)	(xy)	(x^2)	(y^2)
(1) Presion 1	40	99,39	3975,6	1600	9878,3721
(2) Presion 2	36	113,85	4098,6	1296	12961,8225
(2) Presion 3	32	116,57	3730,24	1024	13588,5649
TOTAL	108	329,81	11804,44	3920	36428,7595

Coeficiente de Pearson	
r	-0,9992871

Coeficiente de Pearson	
r	-0,9302197

Nota: Datos de resultados experimentales de los autores. Fuente: (Autores).

Tabla 22

Coeficiente de Pearson en Cemento con Carga 2 con el sistema ABS activado y desactivado.

CARGA 2					
Con ABS					
Numero de datos	Presion de neumatico (x)	Eficiencia de frenado (y)	(xy)	(x^2)	(y^2)
(1) Presion 1	40	90,16	3606,4	1600	8128,8256
(2) Presion 2	36	92,33	3323,88	1296	8524,8289
(2) Presion 3	32	98,02	3136,64	1024	9607,9204
TOTAL	108	280,51	10066,92	3920	26261,5749
Sin ABS					
Numero de datos	Presion de neumatico (x)	Eficiencia de frenado (y)	(xy)	(x^2)	(y^2)
(1) Presion 1	40	81,82	3272,8	1600	6694,5124
(2) Presion 2	36	87,97	3166,92	1296	7738,7209
(2) Presion 3	32	92,09	2946,88	1024	8480,5681
TOTAL	108	261,88	9386,6	3920	22913,8014

Coeficiente de Pearson	
r	-0,9681614

Coeficiente de Pearson	
r	-0,9935511

Nota: Datos de resultados experimentales de los autores. Fuente: (Autores).

Tabla 23

Coeficiente de Pearson en Cemento con Carga 3 con el sistema ABS activado y desactivado.

CARGA 3					
Con ABS					
Numero de datos	Presion de neumatico (x)	Eficiencia de frenado (y)	(xy)	(x^2)	(y^2)
(1) Presion 1	40	80,75	3230	1600	6520,5625
(2) Presion 2	36	82,59	2973,24	1296	6821,1081
(2) Presion 3	32	84,76	2712,32	1024	7184,2576
TOTAL	108	248,1	8915,56	3920	20525,9282
Sin ABS					
Numero de datos	Presion de neumatico (x)	Eficiencia de frenado (y)	(xy)	(x^2)	(y^2)
(1) Presion 1	40	74,98	2999,2	1600	5622,0004
(2) Presion 2	36	77,19	2778,84	1296	5958,2961
(2) Presion 3	32	80,89	2588,48	1024	6543,1921
TOTAL	108	233,06	8366,52	3920	18123,4886

Coeficiente de Pearson	
r	-0,9988732

Coeficiente de Pearson	
r	-0,9895718

Nota: Datos de resultados experimentales de los autores. Fuente: (Autores).

De todos los resultados recopilados del coeficiente de Pearson en todos los terrenos se Asfalto, Adoquín, se observa un valor aproximado entre 0.96 y 0.99 resultando en una correlación positiva – grande y en el terreno de Cemento, una correlación negativa-grande entre las variables de Presión de los Neumáticos vs Eficiencia de Frenado.

Discusión

El análisis del comportamiento de vehículo durante las pruebas de la eficiencia de frenado de 60km/h a 0km/h muestra una relación directa entre el peso y la distancia de frenado. Se observa que el factor de la carga en todos los terrenos a medida que el vehículo lleva mas peso (de la Carga 1 a la Carga 3), necesita mas metros para poder detenerse completamente. Por ejemplo, en el terreno de asfalto con una presión de 40 PSI y usando el sistema ABS la distancia pasa de 9.08m con Carga 1 a 13.43m con Carga 3, incrementando la distancia de frenado en un 47,91 %. Hablando desde el ámbito físico un vehículo mas pesado tiene mayor inercia, por lo que el sistema de frenos realiza un esfuerzo mucho mayor para poder disipar la energía de este movimiento.

Con respecto al tipo de terreno y la presión de los neumáticos también afectan considerablemente a la distancia de frenado, debido a como se agarra el neumático con el suelo. El asfalto tiene la mejor adherencia logrando las frenadas mas cortas con presiones altas de 40 PSI, rondando los 9 metro con Carga 1. En cambio, el adoquín al ser una superficie irregular la cual provoca pequeños brincos y deslizamientos del neumático alargando así las distancias de frenado, llegando hasta 18.93m con 32 PSI con Carga 3 y ABS. En el terreno de cemento ocurre lo contrario, al bajar la presión a 32 PSI mejora el frenado reduciendo la distancia de 11.44m con 40 PSI a 10.22m con 32 PSI con Carga 1 y ABS, la distancia se disminuyó un 10,66%. Esto sucede porque el cemento es una superficie muy lisa y dura, por lo que un neumático con menor presión logra acoplarse mejor a la vía. Respecto a la tecnología del vehículo se observa en todos los casos que, el sistema ABS es mas seguro y efectivo que sin ABS (cuyas distancias de frenado son mayores), ya que evita que los neumáticos se bloqueen y se resbalen, mejorando así la tracción.

En cuanto a la temperatura de las pastillas se estableció que parten de una temperatura normal de 70 °C, los resultados determinaron que al frenar con mayor eficiencia genera mayor temperatura. En los terrenos con mucho agarre como el asfalto

y el cemento, los frenos trabajan con mayor intensidad para detener el vehículo generando picos de calor elevados. En asfalto se llega hasta los 122°C (40 PSI con Carga 3 y con ABS), lo que necesito 17:41 min para que el sistema logre enfriarse. Un dato importante es que al realizar las pruebas de frenado con ABS genera mayor temperatura que realizándolas sin ABS. La razón detrás de esto es que sin ABS la rueda se bloquea y el auto derrapa con la superficie transformando la energía en calor generado directamente en el neumático contra el suelo. Y con el ABS activado, el neumático sigue girando de forma controlada y la mayoría del esfuerzo para el frenado se concentra directamente en las pastillas contra los discos, elevando así su temperatura.

La huella de contacto que cambia según la presión de inflado es el factor fundamental para poder entender las diferencias de temperatura y enfriamiento. Al usar una presión alta de 40 PSI el neumático es muy rígido y la huella de contacto es muy pequeña, por lo que, al tener menos área de apoyo en el pavimento, los frenos asumen la mayoría del trabajo para detener el vehículo, elevando las temperaturas (llegando a 119°C en cemento con Carga 3) y alargando el tiempo de enfriamiento a más de 14 minutos. Por el contrario, al reducir la presión a 32 PSI el neumático se aplasta ligeramente contra el suelo, generando una huella de contacto mas ancha y larga. Esta mayor superficie contra el suelo ayuda a absorber y disipar parte de la fuerza de frenado por si sola, antes de que esta llegue al sistema de frenos. Resultando en que las pastillas trabajan menos forzadas y se calientan menos en asfalto con una temperatura baja de 113°C (con Carga 3 y ABS) y en adoquín con una temperatura hasta 95°C, permitiendo que los frenos se recuperen rápidamente, en tan solo 2:45 minutos.

El análisis del coeficiente de fricción permite medir numéricamente cuanto se agarra el neumático contra el suelo dependiendo el tipo de terreno y la carga del vehículo. En asfalto, debido a su textura rugosa, se obtuvo los mejores resultados de coeficiente de fricción con un valor de 0.37 a 40 PSI con la Carga 1. Sin embargo, al incrementar la carga hasta la Carga 3, este valor disminuye a 0.23, demostrando que el neumático llega a su límite físico y pierde su capacidad de adherencia. Por el contrario, en el cemento, se determinó que al bajar la presión del neumático mejora el agarre, con la Carga 1 el coeficiente es de 0.29 a 40 PSI y de 0.32 a 32 PSI. Esto ocurre debido a que un neumático con menos presión se aplasta más, creando una huella de contacto mas ancha haciendo que se adhiera mejor al suelo. Y en terrenos irregulares como el adoquín, el agarre es menor apenas con un coeficiente de 0.29 a 40 PSI con Carga 1, explicando porque el vehículo necesita mayor distancia de frenado para detenerse.

La eficiencia de frenado mide que tanto el vehículo aprovecha esta adherencia para detenerse rápidamente. Los resultados demuestran que el uso del ABS genera mejor eficiencia de frenado a comparación a cuando esta desconectado. En el asfalto, con 40 PSI y Carga 1, el vehículo con ABS logra una eficiencia excelente de 153.78% respecto a un 114.04 si se frena sin ABS. También, se determinó que al aumentar más carga al vehículo influye a perjudicar a la eficiencia de frenado, con la Carga 3 en estas mismas condiciones (Asfalto, 40 PSI, ABS), la eficiencia disminuye a un 103.61%. Esto ocurre debido a que el aumento de carga genera demasiada energía de movimiento y de calor, exigiendo mucho a los frenos y a los neumáticos más esfuerzo mecánico del que pueden soportar en condiciones ideales. La misma lógica de resultados se repite en el adoquín donde baja del 119.62% al 88.97%. Y en el terreno de cemento al disminuir la

presión a 32 PSI, aumenta la huella de contacto, elevando la eficiencia de frenado desde un 121.26% a 40 PSI hasta un excelente 134.23% con Carga 1 y ABS. Sin embargo, al exigir los frenos con el máximo de la Carga 3 con esta misma presión de 32 PSI, la inercia del vehículo afecta a la tracción y disminuye la eficiencia a un 84.76%.

Finalmente, para dar una validación científica a la investigación, se calculó el coeficiente de correlación de Pearson, que demuestra que existe una relación fuerte entre la presión de los neumáticos y la eficiencia de frenado. Se obtuvieron resultados de coeficiente muy altos, superando el 0.90 en todos los casos. Por ejemplo, en las pruebas en Asfalto con ABS con Carga 1 se alcanza un $r = 0.969$ y sin ABS de $r = 0.971$, y al subir a la Carga 3 se obtuvo un coeficiente con ABS de $r = 0.980$ y sin ABS de $r = 0.976$. Sin embargo, con cemento nos da una correlación negativa con ABS con Carga 1 se alcanza un $r = -0.999$ y sin ABS de $r = -0.930$, y al subir a la Carga 3 se obtuvo un coeficiente con ABS de $r = -0.999$ y sin ABS de $r = -0.989$.

Conclusiones

La investigación bibliográfica y de las normativas permitió establecer una base técnica sólida para la realización del estudio. Se confirmó que, aunque las presiones de los neumáticos recomendadas por el fabricante son una buena guía inicial de análisis, el comportamiento de frenado cambia mucho según las condiciones en las que se somete el vehículo. La investigación teórica demostró que modificar la presión del neumático afecta directamente a la huella de contacto del neumático con el piso. Este cambio modifica el nivel de adherencia y la forma en la que se disipa el calor, proporcionando así el marco conceptual necesario para entender la variación de temperatura y adherencia en las pruebas posteriores.

Las pruebas experimentales realizadas bajo las normas EC13H y CFR 105 en asfalto, adoquín y cemento comprobaron que la eficiencia de frenado depende por completo de la carga del vehículo y del tipo de terreno. Se observó en todos los terrenos que al llevar más carga (hasta la Carga 3) incrementa la distancia de frenado entre un 41% al 59% dependiendo de la superficie y la presión. Además, se evidenció que el sistema ABS es muy importante para evitar el derrape y frenar en una distancia mucho menor, sin embargo, esto provoca que todo el esfuerzo se concentre en los discos y pastillas de freno, calentando así las pastillas a niveles muy altos (llegando hasta 122°C en asfalto a 40 PSI). Por otra parte, en los terrenos irregulares y con menos agarre como el adoquín, la eficiencia disminuye y el vehículo necesita mucha mayor distancia para detenerse de forma segura.

El uso del coeficiente de correlación de Pearson demostró matemáticamente que existe una relación fuerte y directa entre la presión de los neumáticos y la eficiencia de frenado. Gracias a esto, se concluye que la presión de aire más segura y eficiente depende del terreno: En superficies como el asfalto, mantener una presión máxima de 40 PSI logra una distancia de frenado considerablemente menor en comparación a los demás terrenos, por el contrario, en superficies como el cemento, la mejor presión a tomar en consideración es de 32 PSI debido al efecto de la huella de contacto del neumático respecto al suelo.

El estudio concluye que la eficiencia de frenado depende de un equilibrio entre la presión de los neumáticos, el tipo de terreno, la carga del vehículo y la tecnología del ABS. En terrenos con gran agarre como el asfalto, una presión alta de 40 PSI asegura una distancia de frenado más corta, mientras que, en el cemento, reducir la presión a 32 PSI aumenta la adherencia al ensanchar la huella de contacto del neumático, acortando la distancia de frenado en un 10.6%. Por otra parte, el sistema ABS demostró ser muy importante para evitar el derrape y aprovechar toda la fricción disponible. Además, al someter el vehículo a su carga máxima, las distancias de frenado se incrementan considerablemente registrando aumentos del 47.9% en asfalto, 58.9% en cemento y 41.2% en adoquín, al igual que las temperaturas de las pastillas. En resumen, garantizar un frenado seguro requiere ajustar la presión de los neumáticos al tipo de terreno, permitiendo que el ABS gestione eficazmente la inercia que se genera por la carga y la velocidad sin superar las capacidades físicas del sistema para poder disipar el calor generado de manera adecuada.

Bibliografía

- Alzallú Soriano, J. A. (2016, 25 agosto). Eficacia y distancia de frenado. PublicacionesDidacticas.com. <https://core.ac.uk/download/235859049.pdf>
- Burga, J. L. (2019). *MEMORIA DE CÁLCULO PARA EL DISEÑO DE PAVIMENTO*. Municipio de Quito. https://www7.quito.gob.ec/mdmq_ordenanzas/Administraci%C3%B3n%202019-2023/Comisiones%20del%20Concejo%20Metropolitano/Uso%20de%20Suelo/2022/2022-07-11/2.%20Trazado%20vial%20Tacuri/26.%20STHV-DMGT-2021-4912-O/Anexos/memoria_de_c%C3%81culo.pdf
- Caviedes, E. E. R., Higuera, J. F., & Bahena, A. J. (2019). Procedimiento para la estimación del coeficiente de fricción neumático-vía. *Revista Logos Ciencia & Tecnología*, 12(1). <https://doi.org/10.22335/rict.v12i1.1031>
- Dagnino S, J. (2017, 2 diciembre). Correlación. *Revista Chilena de Anestesia*. <https://revistachilenadeanestesia.cl/PII/revchilanestv43n02.15.pdf>
- Kolstad, C. (2025, 12 marzo). *Manómetro de aire - cómo funciona*. Tameson.es. <https://tameson.es/pages/manometro-de-aire>
- López, A. A., Henao, J. B., & Martínez, W. P. (2007). Determinación experimental de la distancia de frenado de un automóvil. *Entre Ciencia E Ingeniería*, 2, 33-42. <https://revistas.ucp.edu.co/index.php/entrecienciaeingenieria/article/view/816/807>
- Parera, A. M. (1993). Frenos ABS [Google Books]. En *Google Books* (Marcombo, 1993). <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=uYxvxFmzvPgC&oi=fnd&pg=PA1&dq=Sistema+de+frenos+ABS&ots=Q3qegSq5xx&sig=2DUviaHZXnMfuy1JDYNW859tGXc#v=onepage&q=Sistema%20de%20frenos%20ABS&f=false>
- *Presión de neumáticos | Continental Neumáticos*. (s. f.). <https://www.continental-neumaticos.es/tire-knowledge/tire-pressure/>
- Suárez, M. (2019, 20 diciembre). *¿Qué es una termocupla y cómo funciona?* Hivimar - Master SI. <https://www.hivimar.com.pe/categoria/blog/69-que-es-una-termocupla>
- Torres, M. T., & Chablé, P. V. (2023). *Acelerómetros (actuadores inerciales)*. Dialnet. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=10044807>
- Tullanta.com. (2023, 24 octubre). *Tabla de presión de llantas I El manual para una presión perfecta*. <https://tullanta.com.mx/tabla-de-presion-de-llantas>
- Universidad de Sevilla. (s.f.). COEFICIENTE DE CORRELACIÓN LINEAL

- DE PEARSON. Obtenido de Universidad de Sevilla: <https://personal.us.es/vararey/adatos2/correlacion.pdf>
- Warner, C. Y. (1983). Friction applications in accident reconstruction. SAE International Agencia Metropolitana de Tránsito Quito. (27 de Abril de 2022). El vehiculo puede perder el control por el agua en la calzada. *Agencia Metropolitana de Transito Quito*, pág. 1.
 - Mondragon, M. (2014). *COEFICIENTE DE CORRELACIÓN LINEAL DE PEARSON*. Movimiento Científico.
 - Monge, J., & Sibaja, L. (Febrero de 2014). *Presion de inflado de neumaticos y la forma en la que afecta la estructura del pavimento*. Obtenido de <https://www.lanamme.ucr.ac.cr/repositorio/handle/50625112500/1361>
 - Quito informa. (9 de Septiembre de 2022). *Conozca cuál es el labrado mínimo de neumáticos para aprobar la RTV y circular en Quito*. Quito: Quito informa.
 - Sanchez, I., Acosta, F., & Rubio, J. (2022). *Análisis de eficiencia de frenado de la válvula compensadora de peso en el eje posterior, para mejorar la seguridad del vehículo*. Quito: UIDE.
 - Yugsi, K., Gonzales, L., Reyes, G., & Rubio, J. (2021). *Estudio eficiencia en frenado con empaques de fricción local e importados en vehículos de categoría N1 bajo norma EC13H*. Quito: UIDE.
 - Ochoa, J., Cabrera, L., & Ortega, M. (2012). *Diseño, construccion e implementacion de un sistema electroneumatico para el inflado de los neumaticos para la conducción*
 - GRUPO HERRES. (2019). Amortiguadores: qué son, sus tipos y cuáles son los mejores. Obtenido de <https://www.grupoherres.com.mx/amortiguadores/>
 - MITSUBISHI MOTORS. (24 de Julio de 2019). ¿Cómo funciona el sistema de frenos de un vehículo? Obtenido de <https://www.mitsubishi-motors.com.pe/blog/funcionamiento-sistema-frenos-vehiculo/>
 - MUTUAL de seguridad CChC. (2020). *Prácticas seguras en la conducción: MUTUAL de seguridad CChC*. Obtenido de https://www.mutual.cl/portal/wcm/connect/4356c5de-7e29-441b-ae36-328d7d8441c0/practicas_seguras_en_la_conduccion_condiciones_climaticas_adversas.pdf?MOD=AJPERES#:~:text=La%20adversidad%20del%20clima%20afecta,seguro%20por%20calles%20y%20autopistas
 - OPONEO. (2 de Agosto de 2010). La adherencia del neumático, condición de seguridad en carretera. Obtenido de <https://www.oponeo.es/blog/la-adherencia-del-neumatico-condicion-de-seguridad-en-carretera#:~:text=%C2%BFQu%C3%A9%20es%20la%20adherencia%20del,res baladizo%20que%20sea%20el%20suelo>
 - SUBARU. (1 de Enero de 2025). ¿Qué es un sistema ABS y cómo funciona? Obtenido de <https://www.subaru.cl/blog/que-es-un-sistema-de-frenos-abs-y-como-funciona/>
 - Tullanta. (7 de Marzo de 2022). El correcto labrado para las llantas de tu vehiculo. Obtenido de https://tullanta.com/labrado-de-las-llantas?srsId=AfmBOorLXT9IbP0i-3bGpzUoWPVOMUgjUMO93vlo_v1GB48t9YvPzpIj
 - Capello, P. (2023, 28 abril). Multímetro automotriz: qué es y cómo utilizarlo| Aprende Institute. Aprende Institute. <https://aprende.com/blog/oficios/mecanica-automotriz/multimetro-automotriz-que-es-y-como-utilizarlo/>
 - Entaban. (2025, 24 septiembre). Qué es un flexómetro, para qué sirve y cómo

elegir el adecuado - Entaban. Entaban. https://entaban.es/blog/que-es-un-flexometro-para-que-sirve-y-como-elegir-el-adecuado/?srltid=AfmBOoqEbK5haMMCKYZiA75PfipIT3nkiuWZd3aqRb485RAIN_Zan_Bh

- Romacar ABS. (2026). ¿Qué es el ABS y cómo funciona? Sistema antibloqueo. (s/f). Obtenido de <https://www.romacarabs.com/noticias-automocion/que-es-y-como-functiona-el-abs/>

Anexos

ANEXO 1: CALCULOS DEL COEFICIENTE DE FRICCION EN EXCEL

Masa del vehiculo (kg)	Gravedad (m/s ²)	Velocidad inicial (m/s)	Masa del vehiculo por neumatico (kg)
1480	9,81	16,67	370

ASFALTO

40PSI					
ABS			SIN ABS		
Carga 1	Carga 2	Carga 3	Carga 1	Carga 2	Carga 3
9,21	12,32	13,67	12,42	14,57	15,02
36PSI					
ABS			SIN ABS		
Carga 1	Carga 2	Carga 3	Carga 1	Carga 2	Carga 3
11,86	14,56	16,22	14,07	16,37	17,71
32PSI					
ABS			SIN ABS		
Carga 1	Carga 2	Carga 3	Carga 1	Carga 2	Carga 3
13,34	16,17	17,81	14,87	17,73	19,24

Calculo de Fuerza Normal (N)		
Carga 1	Carga 2	Carga 3
15107,4	15696	16382,7

ADOQUÍN

40PSI					
ABS			SIN ABS		
Carga 1	Carga 2	Carga 3	Carga 1	Carga 2	Carga 3
11,84	13,56	15,92	14,86	16,06	17,49
36PSI					
ABS			SIN ABS		
Carga 1	Carga 2	Carga 3	Carga 1	Carga 2	Carga 3
12,8	15,41	17,53	17,11	18,94	20,04
32PSI					
ABS			SIN ABS		
Carga 1	Carga 2	Carga 3	Carga 1	Carga 2	Carga 3
15,83	18,22	19,44	19,01	20,62	21,94

CEMENTO

40PSI					
ABS			SIN ABS		
Carga 1	Carga 2	Carga 3	Carga 1	Carga 2	Carga 3
11,68	15,71	17,54	14,25	17,31	18,89
36PSI					
ABS			SIN ABS		
Carga 1	Carga 2	Carga 3	Carga 1	Carga 2	Carga 3
11,05	15,34	17,15	12,44	16,1	18,35
32PSI					
ABS			SIN ABS		
Carga 1	Carga 2	Carga 3	Carga 1	Carga 2	Carga 3
10,55	14,45	16,71	12,15	15,38	17,51

Desaceleración(m/s2)					
40PSI					
ABS			SIN ABS		
Carga 1	Carga 2	Carga 3	Carga 1	Carga 2	Carga 3
-15,0662595	-11,2779586	-10,164188	-11,1871538	-9,53633837	-9,25062916
36PSI					
ABS			SIN ABS		
Carga 1	Carga 2	Carga 3	Carga 1	Carga 2	Carga 3
-11,7153836	-9,54288805	-8,56624229	-9,87522743	-8,48774893	-7,84553642
32PSI					
ABS			SIN ABS		
Carga 1	Carga 2	Carga 3	Carga 1	Carga 2	Carga 3
-10,4156259	-8,59273036	-7,80148512	-9,34394418	-7,83668641	-7,22164501

Fuerza de fricción(N)					
40PSI					
ABS			SIN ABS		
Carga 1	Carga 2	Carga 3	Carga 1	Carga 2	Carga 3
5581,91602	4172,84468	3760,74956	4139,2469	3528,4452	3422,73279
36PSI					
ABS			SIN ABS		
Carga 1	Carga 2	Carga 3	Carga 1	Carga 2	Carga 3
4334,69195	3530,86858	3169,50965	3653,83415	3140,4671	2902,84848
32PSI					
ABS			SIN ABS		
Carga 1	Carga 2	Carga 3	Carga 1	Carga 2	Carga 3
3853,7816	3179,31024	2886,54949	3457,25935	2899,57397	2672,00865

Desaceleración(m/s2)					
40PSI					
ABS			SIN ABS		
Carga 1	Carga 2	Carga 3	Carga 1	Carga 2	Carga 3
-11,7351731	-10,2466409	-8,72766646	-9,35023217	-8,65158468	-7,94422241
36PSI					
ABS			SIN ABS		
Carga 1	Carga 2	Carga 3	Carga 1	Carga 2	Carga 3
-10,8550352	-9,01651201	-7,92609527	-8,12065751	-7,33603221	-6,9335579
32PSI					
ABS			SIN ABS		
Carga 1	Carga 2	Carga 3	Carga 1	Carga 2	Carga 3
-8,7772868	-7,6259303	-7,14734825	-7,30901894	-6,73833414	-6,33292844

Fuerza de fricción(N)					
40PSI					
ABS			SIN ABS		
Carga 1	Carga 2	Carga 3	Carga 1	Carga 2	Carga 3
4342,01406	3791,25712	3229,23659	3459,5859	3201,08633	2939,36229
36PSI					
ABS			SIN ABS		
Carga 1	Carga 2	Carga 3	Carga 1	Carga 2	Carga 3
4016,36301	3336,10944	2932,65525	3004,64328	2714,33192	2565,34164
32PSI					
ABS			SIN ABS		
Carga 1	Carga 2	Carga 3	Carga 1	Carga 2	Carga 3
3247,59611	2821,59421	2644,51885	2704,33701	2493,18363	2343,18352

Desaceleración(m/s2)					
40PSI					
ABS			SIN ABS		
Carga 1	Carga 2	Carga 3	Carga 1	Carga 2	Carga 3
-11,8959289	-8,84433164	-7,9215764	-9,75048772	-8,02683131	-7,35544997
36PSI					
ABS			SIN ABS		
Carga 1	Carga 2	Carga 3	Carga 1	Carga 2	Carga 3
-12,5741584	-9,05765645	-8,1017172	-11,169168	-8,63009006	-7,57190463
32PSI					
ABS			SIN ABS		
Carga 1	Carga 2	Carga 3	Carga 1	Carga 2	Carga 3
-13,17009	-9,61553287	-8,31504788	-11,4357572	-9,03409948	-7,93514849

Fuerza de fricción(N)					
40PSI					
ABS			SIN ABS		
Carga 1	Carga 2	Carga 3	Carga 1	Carga 2	Carga 3
4401,49371	3272,40271	2930,98327	3607,68046	2969,92759	2721,51649
36PSI					
ABS			SIN ABS		
Carga 1	Carga 2	Carga 3	Carga 1	Carga 2	Carga 3
4652,4386	3351,33289	2997,63536	4132,59216	3193,13332	2801,60471
32PSI					
ABS			SIN ABS		
Carga 1	Carga 2	Carga 3	Carga 1	Carga 2	Carga 3
4872,93332	3557,74716	3076,56771	4231,23016	3342,61681	2936,00494

Coeficiente de fricción(N)					
40PSI					
ABS			SIN ABS		
Carga 1	Carga 2	Carga 3	Carga 1	Carga 2	Carga 3
0,37	0,27	0,23	0,27	0,22	0,21
36PSI					
ABS			SIN ABS		
Carga 1	Carga 2	Carga 3	Carga 1	Carga 2	Carga 3
0,29	0,22	0,19	0,24	0,20	0,18
32PSI					
ABS			SIN ABS		
Carga 1	Carga 2	Carga 3	Carga 1	Carga 2	Carga 3
0,26	0,20	0,18	0,23	0,18	0,16

Coeficiente de fricción(N)					
40PSI					
ABS			SIN ABS		
Carga 1	Carga 2	Carga 3	Carga 1	Carga 2	Carga 3
0,29	0,24	0,20	0,23	0,20	0,18
36PSI					
ABS			SIN ABS		
Carga 1	Carga 2	Carga 3	Carga 1	Carga 2	Carga 3
0,27	0,21	0,18	0,20	0,17	0,16
32PSI					
ABS			SIN ABS		
Carga 1	Carga 2	Carga 3	Carga 1	Carga 2	Carga 3
0,21	0,18	0,16	0,18	0,16	0,14

Coeficiente de fricción(N)					
40PSI					
ABS			SIN ABS		
Carga 1	Carga 2	Carga 3	Carga 1	Carga 2	Carga 3
0,29	0,21	0,18	0,24	0,19	0,17
36PSI					
ABS			SIN ABS		
Carga 1	Carga 2	Carga 3	Carga 1	Carga 2	Carga 3
0,31	0,21	0,18	0,27	0,20	0,17
32PSI					
ABS			SIN ABS		
Carga 1	Carga 2	Carga 3	Carga 1	Carga 2	Carga 3
0,32	0,23	0,19	0,28	0,21	0,18

ANEXO 2: CALCULO DE EFICIENCIA DE FRENADO EN EXCEL

ASFALTO

Desaceleración (m/s ²)					
40PSI					
ABS			SIN ABS		
Carga 1	Carga 2	Carga 3	Carga 1	Carga 2	Carga 3
-15,0862595	-11,2779586	-10,164188	-11,1871538	-9,53633837	-9,25062916
36PSI					
ABS			SIN ABS		
Carga 1	Carga 2	Carga 3	Carga 1	Carga 2	Carga 3
-11,7153836	-9,54288805	-8,56624229	-9,87522743	-8,48774893	-7,84553642
32PSI					
ABS			SIN ABS		
Carga 1	Carga 2	Carga 3	Carga 1	Carga 2	Carga 3
-10,4156259	-8,59273036	-7,80148512	-9,34394418	-7,83668641	-7,22164501

Eficiencia de frenado (%)					
40PSI					
ABS			SIN ABS		
Carga 1	Carga 2	Carga 3	Carga 1	Carga 2	Carga 3
153,78	114,96	103,61	114,04	97,21	94,30
36PSI					
ABS			SIN ABS		
Carga 1	Carga 2	Carga 3	Carga 1	Carga 2	Carga 3
119,42	97,28	87,32	100,66	86,52	79,97
32PSI					
ABS			SIN ABS		
Carga 1	Carga 2	Carga 3	Carga 1	Carga 2	Carga 3
106,17	87,59	79,53	95,25	79,88	73,62

ADOQUÍN

Desaceleración (m/s ²)					
40PSI					
ABS			SIN ABS		
Carga 1	Carga 2	Carga 3	Carga 1	Carga 2	Carga 3
-11,7351731	-10,2466409	-8,72766646	-9,35023217	-8,65158468	-7,94422241
36PSI					
ABS			SIN ABS		
Carga 1	Carga 2	Carga 3	Carga 1	Carga 2	Carga 3
-10,8550352	-9,01651201	-7,92609527	-8,12065751	-7,33603221	-6,93335579
32PSI					
ABS			SIN ABS		
Carga 1	Carga 2	Carga 3	Carga 1	Carga 2	Carga 3
-8,7772868	-7,6259303	-7,14734825	-7,30901894	-6,73833414	-6,33292844

Eficiencia de frenado (%)					
40PSI					
ABS			SIN ABS		
Carga 1	Carga 2	Carga 3	Carga 1	Carga 2	Carga 3
119,62	104,45	88,97	95,31	88,19	80,98
36PSI					
ABS			SIN ABS		
Carga 1	Carga 2	Carga 3	Carga 1	Carga 2	Carga 3
110,65	91,91	80,80	82,78	74,78	70,68
32PSI					
ABS			SIN ABS		
Carga 1	Carga 2	Carga 3	Carga 1	Carga 2	Carga 3
89,47	77,74	72,86	74,51	68,69	64,56

CEMENTO

Desaceleración (m/s ²)					
40PSI					
ABS			SIN ABS		
Carga 1	Carga 2	Carga 3	Carga 1	Carga 2	Carga 3
-11,8959289	-8,84433164	-7,9215764	-9,75048772	-8,02683131	-7,35544997
36PSI					
ABS			SIN ABS		
Carga 1	Carga 2	Carga 3	Carga 1	Carga 2	Carga 3
-12,5741584	-9,05765645	-8,1017172	-11,169168	-8,63009006	-7,57190463
32PSI					
ABS			SIN ABS		
Carga 1	Carga 2	Carga 3	Carga 1	Carga 2	Carga 3
-13,17009	-9,61553287	-8,31504788	-11,4357572	-9,03409948	-7,93514849

Eficiencia de frenado (%)					
40PSI					
ABS			SIN ABS		
Carga 1	Carga 2	Carga 3	Carga 1	Carga 2	Carga 3
121,26	90,16	80,75	99,39	81,82	74,98
36PSI					
ABS			SIN ABS		
Carga 1	Carga 2	Carga 3	Carga 1	Carga 2	Carga 3
128,18	92,33	82,59	113,85	87,97	77,19
32PSI					
ABS			SIN ABS		
Carga 1	Carga 2	Carga 3	Carga 1	Carga 2	Carga 3
134,25	98,02	84,76	116,57	92,09	80,89

ANEXO 3: EVIDENCIAS VISUALES DE LA TOMA DE TEMPERATURA Y TIEMPOS DE ENFRIAMIENTO DE LAS PASTILLAS DE FRENO

