



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

**ANÁLISIS DE LOS COEFICIENTES DE ADHERENCIA DE LOS NEUMÁTICOS
NUEVOS Y USADOS DURANTE EL PROCESO DE FRENADO DE EMERGENCIA
CON BASE A REGLAMENTOS INTERNACIONALES PARA LA CORRECTA
COLOCACIÓN DE NEUMÁTICOS EN EL EJE CORRESPONDIENTE.**

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

AUTOR: ALEJANDRO ISRAEL MARTÍNEZ VALLADOLID

TUTOR: JUAN PABLO TAMAYO BENAVIDES

Quito - Ecuador

2024

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Israel Alejandro Martínez Valladolid con documento de identificación N° 1723383004 manifiesto que:

Soy el autor y responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 24 de julio de 2024

Atentamente,



Israel Alejandro Martínez Valladolid

172338300-4

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

Yo, Israel Alejandro Martínez Valladolid con documento de identificación N° 1723383004, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del Artículo Académico: “Análisis de los coeficientes de adherencia de los neumáticos nuevos y usados durante el proceso de frenado de emergencia con base a reglamentos internacionales para la correcta colocación de neumáticos en el eje correspondiente”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de Ingeniero Automotriz, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribí este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana

Quito, 24 de julio de 2024

Atentamente,



Israel Alejandro Martínez Valladolid

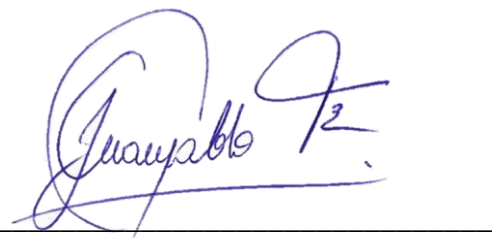
172338300-4

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Juan Pablo Tamayo Benavides con documento de identificación N° 1714824156, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: ANÁLISIS DE LOS COEFICIENTES DE ADHERENCIA DE LOS NEUMÁTICOS NUEVOS Y USADOS DURANTE EL PROCESO DE FRENADO DE EMERGENCIA CON BASE A REGLAMENTOS INTERNACIONALES PARA LA CORRECTA COLOCACIÓN DE NEUMÁTICOS EN EL EJE CORRESPONDIENTE, realizado por Israel Alejandro Martínez Valladolid con documento de identificación N° 1723383004 obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción: Artículo Académico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 24 de julio de 2024

Atentamente,



Ing. Juan Pablo Tamayo Benavides, MSc.

1714824156

DEDICATORIA

Dedico el presente proyecto a Dios por haberme bendecido con salud y vida para poder llegar hasta este punto en mi desarrollo académico y profesional.

A mis padres Pedro y Cristina que con su apoyo, amor y esfuerzo he podido llegar hasta aquí para ser un excelente profesional y con sus enseñanzas inculcadas ser una excelente persona.

A mi hermano Oswaldo que con nuestras charlas y sus consejos me han servido para mejorar mis conocimientos, a mis abuelos que aun que no estén conmigo en este logro sé que lo anhelaron tanto como yo.

A mi tutor de proyecto Ing. Juan Pablo Tamayo que con su ayuda y guía me ha llevado a este logro.

A mis Ingenieros, Laboratoristas que sin sus enseñanzas no solo en cuestiones académicas si no de vida, por haberme guiado en este largo camino de tropiezos y alegrías.

A mis compañeros y amigos que a lo largo de mi vida universitaria han sabido estar a mi lado en las buenas y en las malas

AGRADECIMIENTO

Mis sinceros agradecimientos a mi familia por no dejar de estar conmigo, a mi enamorada Melissa Enríquez por apoyarme en momentos realmente difíciles y no dejarme solo.

A las autoridades de la carrera de Ingeniería Automotriz, MSc Ángel Paucar por haberme abierto una puerta cuando todo parecía desmoronarse.

Agradezco al Ingeniero Juan Pablo Tamayo por creer en mi para poder desarrollar esta investigación.

Agradezco a cada uno de los Ingenieros que tuve el gusto de conocer y que formaran parte de mi crecimiento profesional que los considero como mis amigos.

ANÁLISIS DE LOS COEFICIENTES DE ADHERENCIA DE LOS NEUMÁTICOS NUEVOS Y USADOS DURANTE EL PROCESO DE FRENADO DE EMERGENCIA CON BASE A REGLAMENTOS INTERNACIONALES PARA LA CORRECTA COLOCACIÓN DE NEUMÁTICOS EN EL EJE CORRESPONDIENTE.

ANALYSIS OF ADHESION COEFFICIENTS OF NEW AND USED TIRES DURING THE EMERGENCY BRAKING PROCESS BASED ON INTERNATIONAL REGULATIONS FOR THE CORRECT PLACEMENT OF TIRES ON THE CORRESPONDING AXLE.

Alejandro Martinez-Valladolid¹

Resumen

El estudio se centra en evaluar la adherencia de neumáticos nuevos y usados en situaciones de frenado de emergencia. Utilizando herramientas como el scanner KONNWEI OBD2 recolecto valores aplicados para las tazas de frenado, alineadora y balanceadora necesarias para tener la mayor superficie de contacto por parte de los neumáticos, balanza gravimétrica (DINI Argeo) el cual dio valores de distribución de cada peso por cada llanta y por eje. Se compararon los coeficientes de frenado pico entre ambos tipos de neumáticos, encontrando que los neumáticos usados presentaron valores más altos en kf, kr y km, con 0.419, 0.489 y 0.450 respectivamente, en comparación con los neumáticos nuevos que obtuvieron 0.208, 0.226 y 0.216. Además, se observó que la eficiencia de frenado ϵ fue mayor en los neumáticos usados con 0.816 en contraste con 0.747 en los neumáticos nuevos. Estos resultados resaltan la importancia de considerar el estado de los neumáticos en situaciones de frenado de emergencia para garantizar un comportamiento óptimo y seguro en carretera.

Palabras Clave: Coeficiente, adherencia, livianos, LDV, pruebas de frenado

Abstract

The study focuses on evaluating the grip of new and used tires in emergency braking situations. Using tools such as the KONNWEI OBD2 scanner, an iPhone accelerometer sensor and the Physics Toolbox Accelerometer application, the coefficients of adhesion were measured on different road sections. The results showed that new tires had a higher coefficient of adhesion compared to used tires, especially at high speeds. For example, at a speed of 80 km/h, the new tires achieved a coefficient of adhesion of 0.85, while the used tires reached only 0.70. In addition, vehicle load was found to significantly influence grip, being more noticeable in used tires. These findings underline the importance of using tires in good condition to ensure safety in emergency braking, in accordance with international standards 571.135 and UN No. 13-H. In conclusion, the study provides crucial data for the correct placement of tires on the corresponding axle, thus improving road safety.

Keywords: Coefficient, adhesion, light weight, LDV, brake tests

¹ Estudiante de Ingeniería Automotriz – Universidad Politécnica Salesiana – Quito, Ecuador
Autor para correspondencia: imartinezv@est.ups.edu.ec

1. Introducción

En la industria automotriz, la ubicación óptima de los neumáticos es un aspecto crucial que influye directamente en la seguridad y el rendimiento de un vehículo. Considerando el labrado de los neumáticos, es fundamental analizar detenidamente la ubicación adecuada de estos componentes en el automóvil. En este artículo académico, se explorará en detalle la importancia de la ubicación de los neumáticos en función de su labrado, brindando una perspectiva técnica sobre cómo esta decisión impacta en el proceso de frenado de emergencia mediante el análisis de los coeficientes de adherencia de los neumáticos nuevos y usados siguiendo los reglamentos internacionales para garantizar la correcta colocación de los neumáticos en el eje correspondiente.

Las fuerzas generadas entre el neumático-carretera son cruciales en la dinámica y el control del vehículo porque son las únicas que un vehículo experimenta desde el suelo. Dentro del análisis de las fuerzas que soportan los neumáticos, las de adherencia son de suma importancia, para lo cual se requieren calcular o estimar los coeficientes de fricción entre la calzada y el neumático[1].

Para la medición de este parámetro tan importante, Remolina et. Al, indica que para estimar el coeficiente de fricción entre el neumático de un vehículo y la superficie de la carretera basándose en las maniobras de frenado, su método es medir la deceleración del vehículo durante el frenado en diversas condiciones, como cambios de velocidad, presión de los neumáticos o condiciones de la superficie de la carretera por medio del acelerómetro Vericom [2].

Por otra parte, los resultados de la investigación de la Administración Nacional de Seguridad del Tráfico en las Carreteras (NHTSA) indica que el método de prueba de la adherencia de Frenos Antibloqueo (ABS) de la CEPE N° 13H resulta complicado y la determinación de la adherencia en cada eje de los vehículos de prueba, en especial para vehículos livianos oscila entre los valores de $k_f = 0.227$ del coeficiente del eje delantero y $k_r = 0.221$ del coeficiente del eje trasero para los ejes delantero y posterior, respectivamente, en condición de plena carga.

Estas pruebas de frenado se efectuaron en una pista de pruebas rectangular de 50 acres cuya superficie es pavimento asfáltico[3].

Los estudios en carretera permiten obtener “Modelos de comportamiento de adherencia neumático-calzada”, estudio realizado por Marta Pagola donde se determina que el valor de este coeficiente no es constante, sino que partiendo de un valor inicial va decreciendo hasta alcanzar un valor mínimo en función del tránsito usando dos equipos para medición: tráiler de rueda bloqueada y el Fricciónómetro dinámico (Dynamic Friction tester)[4].

Por otra parte L. Li et. Al se basa en el método integral con fusión de señales valiosas del sistema de control de la dinámica del vehículo, disponibles para estimar la fricción de la carretera obteniendo datos exactos y fiables en el momento de realizar las pruebas para algunos métodos de control [5].

Finalmente, con el avance de la tecnología, los sistemas inteligentes ligan su funcionamiento con los coeficientes de rozamiento como lo muestra el estudio de Bo Leng et. Al denominado “Estimación del coeficiente de adherencia pico neumático-carretera para vehículos eléctricos inteligentes basada en la fusión de y la dinámica de los neumáticos” donde se determina que el coeficiente de adherencia máxima no sólo es un parámetro clave para lograr un control preciso del movimiento del vehículo, sino que también es un dato importante para la toma de decisiones y la planificación de un sistema de control inteligente[6]. No yendo muy lejos, Wang et. Al, explica que la función principal de los sistemas antibloqueo de frenos es evitar el bloqueo de las ruedas durante una frenada brusca y mantener la tracción entre los neumáticos y la carretera en un valor óptimo, donde magnitud de esta tracción óptima suele determinarse en función del coeficiente de fricción de los neumáticos con la carretera[7].

Por lo tanto, la comprensión del coeficiente es fundamental para entender cómo los neumáticos se adhieren y traccionan en distintos entornos ambientales, teniendo un impacto importante en la seguridad y el desempeño al conducir[8], [9].

2. Materiales y Métodos

2.1. Equipo

Para realizar el apartado experimental se utilizan las siguientes herramientas:

- Scanner OBD2 KONNWEI
- Neumáticos Rin 15
- Vehículo Kia Rio hb
- Balanza gravimétrica (Dini Argeo)
- Pastillas de frenos
- Caja de herramientas
- Cinta métrica 100m
- Alineadora y balanceadora

2.1.1. Scanner OBD2 KONNWEI

- Voltaje de la fuente de alimentación: 11,5 V—15 V.
- Corriente de la fuente de alimentación: menos de 200Ma.
- El adaptador KONNWEI OBD II es una potente herramienta de diagnóstico de automóviles desarrollada que cumple totalmente con las especificaciones OBD II/EODB. Admite múltiples modos de conexión inalámbrica para conectar su teléfono inteligente o tableta. Lea los datos del motor del automóvil en tiempo real, como la velocidad del motor, el tiempo de encendido, el ajuste de combustible, la temperatura del agua, el consumo de combustible. Además, admite varias aplicaciones OBD II.
- Protocolos OBD-II compatibles: ISO 9141 / KWP2000 / SAE J1850 / CAN / J1850 VPW / J1850 PWM

2.1.2. Balanza gravimétrica (Dini Argeo)

- Configuración, calibración, ingreso de datos y formateo de impresoras.
- Archivo y almacenamiento de todas las informaciones sobre el PC.
- Recuperación total de datos almacenados por sustitución rápida.
- Calibración instrumental con valores numéricos.
- Selección del idioma del programa directamente en el set-up.
- Conversión A/D 24 bit, 4 canales, máx. 3200 conv./seg. con selección automática y hasta 8 puntos de linealización señal.

- Máx. 10.000e o multicampo 3 x 3000e @ 0,3 μ V/e en versión homologada para uso legal CE-M.
- Máx. 1.000.000 divisiones visualizables para uso interno de fábrica con resolución interna hasta 3.000.000 de puntos.

2.2. Metodología

Para la determinación de los coeficientes de adherencia se efectúa una evaluación en conformidad con las normas 571.135, N° 135 y la regulación ONU No. 13-H. Estas normativas establecen criterios precisos de funcionamiento para certificar vehículos según los estándares de seguridad que proponen para sistemas de frenos con el sistema ABS incorporado. Esta validación se realiza para analizar la adaptación de los neumáticos al asfalto en términos de adherencia, asegurando un comportamiento óptimo en situaciones de frenado y garantizando un desempeño seguro en diversas condiciones, principalmente durante un frenado de pánico[10][11].

2.2.1. Condiciones de la vía de pruebas

De acuerdo con la ONU No. 13-H el Anexo 3, párrafo 1.2.4 se establece que la superficie de la carretera permitirá una adherencia adecuada, a no ser que se especifique lo contrario[11], considerar como valor de referencia $\varepsilon \leq 0.8$. De igual manera, la Norma N° 135; Sistemas de frenos de vehículos ligeros en el párrafo S6.2. consideran aspectos relevantes para la vía de pruebas[12], las cuales se recopilan en la Tabla 1 y serán considerados para la selección de la ruta de pruebas.

Tabla 1 Condiciones viales para pruebas [12]

Ítem	Condición
Fricción del pavimento	0.15 a 0.8
Gradiente longitudinal	Hasta 1%
Gradiente transversal	Hasta 2%
Ancho de vía	3.5 m

Martínez/ Análisis de los Coeficientes de Adherencia de los Neumáticos Nuevos y Usados Durante el Proceso de Frenado de Emergencia con Base a Reglamentos Internacionales para la Correcta Colocación de Neumáticos en el Eje Correspondiente.

2.2.2. Condiciones ambientales de pruebas

La normativa N°135 en el inciso S6.1 dicta los parámetros a considerar para las condiciones del medio en el cual se desarrolla la prueba de frenado, las cuales se resumen en la Tabla 2.

Tabla 2 Condiciones ambientales para pruebas.

Ítem	Condiciones
Temperatura del ambiente.	0° (C 32° F) y 40° C (104° F)
Velocidad del viento.	5 m/s

2.2.3. Condiciones del vehículo de pruebas

Para empezar las pruebas se requiere un mantenimiento de todo el sistema de frenos, con el fin de que las superficies de fricción se encuentren en buen estado libres de cualquier fluido. Además, se inspecciona el estado de las cañerías las cuales no deberán tener fugas o estar dobladas, de acuerdo con la norma—N° 135 capítulo S5.6.

Las condiciones de carga del depósito y presión de neumáticos deben manejarse bajo las condiciones indicadas en la misma norma, en el párrafo S6.3.2 especificado en la Tabla 3.

Tabla 3 Condiciones del vehículo

Ítem	Condición
Carga del depósito.	75% a 100%
Presión de inflado.	30 a 35 PSI

2.2.4. Determinación de la altura del centro de masa

Para ubicar la altura del centro de masa vehicular se empleará en la Eq. 1.

$$h = \frac{F_r \cos\phi a_2 - F_f \cos\phi a_1}{P \cdot g \cdot \sin\phi} + R \quad (1)$$

Donde:

ϕ , ángulo de inclinación

a_2 , distancia entre el eje trasero hacia el centro de masa

a_1 , distancia del eje delantero hacia el centro de masa

R , radio geométrico de la rueda

h , centro de masa

F_f , carga en el eje delantero

F_r , carga en el eje trasero

Para determinar las reacciones en los ejes delanteros y posteriores se usan balanzas gravimétricas en cada una de las ruedas del vehículo de prueba, como se muestra en la Figura 1.

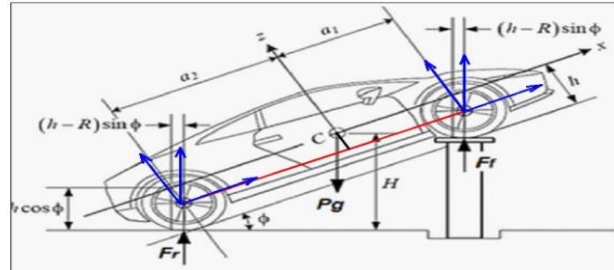


Figura 1 Centro de masa y carga en los ejes

2.2.5. Tasas de frenado (Z)

Para realizar el cálculo de las tasas de frenado de acuerdo con la norma CEPE No. 13-H el anexo 6 apéndice 2 en los párrafos 1.1.3 y 1.2.2 es necesario alcanzar la velocidad de 50 km/h y que el vehículo desacelere por sí mismo a 40km/h, posteriormente aplicar una fuerza constante en el pedal de freno hasta llega a una velocidad de 20km/h. para esto se plantearon 2 ecuaciones sobre el coeficiente máximos de frenado obteniendo la Eq. 2.

$$z = \frac{0.566}{t} \quad (2)$$

A partir de esto, el proceso se repitió con distintas fuerzas aplicadas al pedal de freno (alta, media, bajá) sin hacer que el sistema de ABS se active, tomando en cuenta que el vehículo tiene una carga en y se obtiene Z_m : tasa media de frenado, como se muestra en la Eq. 3

$$z_m = \frac{0.566}{t_m} \quad (3)$$

Para obtener Z_{AL} : coeficiente de frenado del vehículo con sistema antibloqueo funcional, se realiza un procedimiento similar al de Z_m con la diferencia de velocidad de 55km/h, posteriormente el vehículo desacelerara a 45km/h una vez reducida la velocidad se aplicará una fuerza constante en el pedal de freno hasta llegar a una velocidad de 15km/h, esto se repetirá de la misma manera con las fuerzas sin que el sistema de ABS se active, es necesario tomar en cuenta que el vehículo debe tener la misma carga que en la prueba anterior.

Se determinará Z_{AL} mediante la Eq. 4.

$$Z_{AL} = \frac{0.849}{t_m} \quad (4)$$

2.2.6. Cálculo de coeficientes de adherencia

La adherencia de una superficie de rodamiento es un factor crucial que influye en la seguridad y el rendimiento de un vehículo. Esta propiedad, que no permanece constante a lo largo de la vida útil de la superficie, está determinada por una serie de factores que pueden clasificarse en internos (relacionados con el neumático y el vehículo) y externos (vinculados al entorno en el que se desplaza, especialmente la naturaleza y el estado de la calzada). En este contexto, la magnitud de la adherencia ofrecida por la superficie de rodamiento varía en función de dos parámetros clave: la macrotextura de la superficie y el coeficiente de fricción. [4][13]

La utilización de los coeficientes de adherencia esta determinados por las ecuaciones:

$$Kf = \frac{z_m * P * g - 0.01F_2}{F_1 + \frac{h}{E} * z_m * P * g} \quad (5)$$

$$Kr = \frac{z_m * P * g - 0.015F_1}{F_2 + \frac{h}{E} * z_m * P * g} \quad (6)$$

Las Eq. 5 y 6 permiten calcular los coeficientes de rozamientos delantero y posterior, respectivamente, donde:

- k_r , coeficiente del eje trasero
- k_f , coeficiente del eje delantero
- P , masa del vehículo
- g , aceleración debida a la gravedad
- h , altura de centro de masa
- E , distancia entre ejes
- z_m , tasa media de frenado
- F_1 , fuerza en el eje delantero
- F_2 , fuerza en el eje trasero

Para lo cual se debe conocer:

El centro de masa es la distancia vertical desde el centro de gravedad hasta una referencia horizontal, los métodos para obtener el centro de masa es inclinar el vehículo. Este método se basa en el principio del equilibrio y la relación entre la fuerza ejercida por el objeto y la fuerza de reacción del soporte. Se debe poner en un punto fijo y levantar el vehículo a una cierta altura y se

calcula la altura del suelo a su centro de masa, como se muestra en la Figura 2.



Figura 2 Vehículo pesado con inclinación

2.2.7. Cálculo de fuerzas dinámicas (F_{dyn}).

Bajo las normativas antes nombradas, se trabaja las ecuaciones, aplicándolas para los neumáticos nuevos y usados en este estudio.

La Eq. 7 se utiliza para calcular la fuerza dinámica en el eje delantero que actúa sobre un vehículo en movimiento en el eje delantero.

$$F_{fdyn} = F_f + \frac{h}{E} * Z_{AL} * P * g \quad (7)$$

Donde:

F_f , fuerza en el eje delantero

F_{fdyn} , fuerzas dinámicas aplicadas en el eje delantero.

De igual manera se calcula la fuerza dinámica para el eje trasero como se muestra en la Eq. 8.

$$F_{rdyn} = F_r - \frac{h}{E} * Z_{AL} * P * g \quad (8)$$

Donde:

F_r , fuerza en el eje trasero

F_{rdyn} , fuerzas dinámicas aplicadas en el eje trasero

El coeficiente máximo de adherencia K_m se determinará ponderándolo con las cargas dinámicas del eje frontal y el eje trasero, como se muestra en la Eq. 9.

$$k_M = \frac{k_f * F_{fdyn} + k_r * F_{rdyn}}{P * g} \quad (9)$$

Donde:

k_M , factor del vehículo propulsado

Martínez/ Análisis de los Coeficientes de Adherencia de los Neumáticos Nuevos y Usados Durante el Proceso de Frenado de Emergencia con Base a Reglamentos Internacionales para la Correcta Colocación de Neumáticos en el Eje Correspondiente.

Para obtener el coeficiente de adherencia de la superficie de pruebas ε , se efectúa el cociente de la velocidad máxima de frenado con el sistema antibloqueo (Z_{AL}) y el coeficiente de adherencia (k_m), como se muestra en la Eq. 10.

$$\varepsilon = \frac{Z_{AL}}{k_m} \quad (10)$$

3. Resultados Y Discusión

3.1. Condiciones prueba reales

Se procede a realizar el cambio de consumibles, tales como: pastillas de freno, líquido de freno, zapatas, rectificación de discos, y chequeo de partes móviles que forman parte del sistema como se observa en la Figura 3.



Figura 3 Mantenimiento de frenos delanteros

Para evitar factores de desgaste irregular alineó y balanceó en cada cambio de neumáticos nuevos y usados para aprovechar la banda de rodadura (dibujo o huella del neumático) con el máximo de superficie como se muestra en Figura 4.



Figura 4 Alineación y balanceo de los neumáticos

Para comparar la adherencia entre los neumáticos nuevos y usados, se opta por realizar una prueba enfocada en las distancias de frenado, para lo cual aparte de considerar las condiciones

ambientales se debe tener en cuenta las condiciones del vehículo visualizadas en la Tabla 4.

Tabla 4 Condiciones del estado del vehículo

Masa del Vehículo	1440 kg
Presión de Inflado	35 PSI
Capacidad del Tanque de Combustible	100%
Altura de Labrado (nuevo)	8 mm
Altura de Labrado (usado)	1.59 mm

Para empezar con las pruebas se requiere que los elementos friccionantes estén acorde a los rangos de temperatura estipulados en ambas normas. Las temperaturas registradas se detallan en la Tabla 5

Tabla 5 Resultado de temperaturas

	Neumáticos	
	Nuevos	Usados
Distancia de Frenado	30,3	37,33
Temperatura de Tambores	75	82,7
Temperatura de discos	79,7	90,7

3.2. Cálculo de centro de masa.

Mediante la ecuación 3 se calcula el centro de masa del vehículo, para ello se necesitará el ángulo θ de inclinación y las fuerzas que actúan sobre el vehículo.

El análisis de las ecuaciones da como resultado los apartados:

- Peso del vehículo en el eje trasero inclinándolo a una cierta altura.
 $F_r = 7004.34 \text{ N}$
- Peso del vehículo con su carga máxima en el eje delantero.
 $F_f = 7126.97 \text{ N}$
- Angulo de inclinación del vehículo.
 $\theta = 14.8218^\circ$
- Peso del vehículo a su máxima carga.
 $P = 1440 \text{ kg}$

- Aceleración debida a la gravedad.
 $g = 9.81 \text{ m/s}^2$
- Radio dinámico del neumático.
 $R = 0.38 \text{ m}$
- Resultado obtenido del centro de masa (Eq. 3).
 $h = 0.381 \text{ m}$

3.2.1. Cálculos de neumáticos nuevos y usados

Aplicando las ecuaciones mencionadas en la metodología, se obtendrá cada uno de sus resultados, los cuales se muestran en la Tabla 6 en la cual se muestran los tiempos requeridos para el cálculo de las tasas de frenado que se indican en la Tabla 7. Los valores de las tasas de frenado Z y Z_m , que se obtiene con el sistema ABS desconectado, son menores en los neumáticos nuevos si se compara con los usados.

Tabla 6 Tiempos con neumáticos nuevos y usados

	Neumáticos	
	Nuevos	Usados
Tiempos	4,53s	2,54s
	5,25s	3,15s
	5,25s	2,31s

Tabla 7 Tasas de frenado

	Neumáticos	
	Nuevos	Usados
Z	0,1251	0,2230
Z _m	0,1158	0,2334
ZAL	0,1617	0,3675

Sin embargo, la tasa de frenado con el sistema ABS activado (ZAL) aumenta con respecto a las tasas de frenado máximo, como es de esperarse, pero es mayor en los neumáticos utilizados por un valor de 0.205, lo que implica que el sistema de frenos realiza un mayor trabajo para detener al vehículo en esta condición de prueba.

La transferencia de fuerzas dinámicas también se ve afectada por la altura del labrado del neumático. Si se considera los valores mostrados en la Tabla 4, la fuerza dinámica en el eje delantero es mayor con los neumáticos usados

en un valor 429.36 N más que con los neumáticos delantero, mostrando que existe una mayor transferencia de masa durante el proceso de frenado de pánico. Por otra parte, la fuerza transferencia dinámica entre ejes es 797.33 N para neumáticos nuevos y de 1656.05 N para los neumáticos usados. Por lo que los neumáticos nuevos presentarían un mejor desempeño a la hora de frenar al vehículo pese a tener una menor adherencia como se observa en la tabla 8.

Tabla 8 Fuerzas dinámicas

	Neumáticos	
	Nuevos	Usados
F _{fdyn}	7464,32N	7893,68N
F _{r_{dyn}}	6666,99N	6237,63N

Para finalizar, la adherencia de la vía de pruebas en ambas condiciones de pruebas tiene valores que cumplen la condición $\epsilon \leq 0.8$ denotando que la superficie de pruebas si tiene buena adherencia para validar el ensayo. Los valores de k_f son ligeramente menores que los de k_r y en ambos casos cumplen el requisito de las normas que indican que deben ser igual o menores a 0.3. El valor de k_M el cual considera la transferencia dinámica de fuerzas durante el proceso de frenado, es el doble en los neumáticos usados si se considera los valores de los neumáticos nuevos mostrado en la Tabla 9.

Tabla 9 Resultados obtenidos

Coeficientes de adherencia	Neumáticos	Neumáticos
	Nuevos	Usados
k_f	0,208	0,419
k_r	0,226	0,489
k_M	0,216	0,450
ϵ	0,747	0,816

4. Conclusiones

Tras comparar los requisitos y el proceso de ensayos para efectuar las pruebas de frenado del reglamento CEPE 13H y la norma FMVSS N° 135 se encontró diferencias en: primero, el método para determinar los coeficientes de frenado pico; segundo, valores de velocidad permitidos durante los ensayos; tercero, el proceso de bruñido de los elementos

Martínez/ Análisis de los Coeficientes de Adherencia de los Neumáticos Nuevos y Usados Durante el Proceso de Frenado de Emergencia con Base a Reglamentos Internacionales para la Correcta Colocación de Neumáticos en el Eje Correspondiente.

friccionantes del sistema de frenos y cuarto, dimensiones de la vía de pruebas. Esto permitió poder ajustar los requisitos de pruebas de los reglamentos internacionales a las condiciones locales de pruebas en especial para lo que son vías de pruebas y velocidad de viento permisible.

Si se considera que para el desarrollo del presente estudio se usó neumáticos nuevos y desgastados, las dimensiones geométricas y presión de inflado son los únicos parámetros comunes entre estos dos elementos, debido a que la diferencia entre la altura del labrado es de aproximadamente 84%, lo que permite considerar que hay diferencias significativas en los resultados de las pruebas.

Tras realizar pruebas con neumáticos nuevos y usados en condiciones controladas, se observó que el valor del coeficiente de adherencia aumenta alrededor del 100% en los neumáticos usados en superficies secas de ambos ejes. Esto sugiere que un neumático con un labrado desgastado brinda mejor adherencia durante el proceso de frenado de pánico, sin embargo, se tienen una penalización en las fuerzas dinámicas del eje posterior ya que se reduce en 6.5% la carga que soporta este eje, transfiriéndola al eje delantero incrementando este valor en 5.7%. Esta diferencia en los coeficientes de adherencia y las fuerzas dinámicas de ambos ejes permiten considerar que, durante un frenado de emergencia es preferible que los neumáticos con mejor labrado deben colocarse en el eje posterior debido a que la carga dinámica en este eje se reduce.

Si se considera la seguridad vial, los resultados son de gran relevancia debido a que hay un incremento en la distancia de frenado en superficie seca de los neumáticos usados es del 6.03%, esto puede ayudar a promover prácticas de mantenimiento adecuadas y mejorar la seguridad en las vías periféricas de Quito.

Para ambas condiciones de pruebas, la vía seleccionada para los ensayos de frenado se cumple los valores requeridos por la norma para

determinar que la superficie de pruebas tiene una buena adherencia, es decir que los resultados obtenidos están alrededor de 0.8.

Los valores obtenidos de los coeficientes de adherencia del eje delantero y posterior están dentro del rango de la normativa, es decir, son menores a 0.3.

Referencias

- [1] R. Rajamani, D. Piyabongkarn, J. Y. Lew, K. Yi, and G. Phanomchoeng, "Tire-Road Friction-Coefficient Estimation: Real-Time Estimation Methods For Active Automotive Safety Applications," *IEEE Control Syst*, vol. 30, no. 4, pp. 54–69, 2010, doi: 10.1109/MCS.2010.937006.
- [2] E. E. Remolina Caviedes, J. F. Higuera, and A. J. Bahena, "Procedimiento para la estimación del coeficiente de fricción neumático-vía," *Revista Logos, Ciencia & Tecnología*, vol. 12, no. 1, Dec. 2019, doi: 10.22335/rlct.v12i1.1031.
- [3] National Highway Traffic Safety Administration, "NHTSA Light Vehicle ABS Performance Test Development," 2005.
- [4] M. I. Marta and B. Pagola, "Universidad Nacional de Rosario MODELOS DE COMPORTAMIENTO DE ADHERENCIA NEUMÁTICO CALZADA Doctor en Ingeniería," 2012.
- [5] L. Li, K. Yang, G. Jia, X. Ran, J. Song, and Z. Q. Han, "Comprehensive tire-road friction coefficient estimation based on signal fusion method under complex maneuvering operations," *Mech Syst Signal Process*, vol. 56, pp. 259–276, May 2015, doi: 10.1016/j.ymssp.2014.10.006.
- [6] B. Leng, D. Jin, L. Xiong, X. Yang, and Z. Yu, "Estimation of tire-road peak adhesion coefficient for

- intelligent electric vehicles based on camera and tire dynamics information fusion,” *Mech Syst Signal Process*, vol. 150, Mar. 2021, doi: 10.1016/j.ymssp.2020.107275.
- [7] Y. Wang *et al.*, “Tire Road Friction Coefficient Estimation: Review and Research Perspectives,” *Chinese Journal of Mechanical Engineering (English Edition)*, vol. 35, no. 1. Springer, Dec. 01, 2022. doi: 10.1186/s10033-021-00675-z.
- [8] Física Explicada, “Coeficiente De Fricción – Definición, Tipos Y Ejemplos,” https://fisicaexplicada.com/coeficiente-de-friccion-definicion-tipos-y-ejemplos/?expand_article=1.
- [9] Gsu.edu, “Fricción y Neumáticos del Automovil,” <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/Mechanics/frictire.html>. Accessed: Mar. 23, 2024. [Online]. Available: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/Mechanics/frictire.html>
- [10] s. f., “49 CFR § 571.135 - Standard No. 135; Light vehicle brake systems,” LII / Legal Information Institute. .
- [11] Diario Oficial de la Unión Europea, “Reglamento n. o 13-H de las Naciones Unidas: Disposiciones uniformes sobre la homologación de los turismos en lo relativo al frenado,” 2023.
- [12] Code of Federal Regulations, “571.135 Standard No. 135; Light vehicle brake systems.,” 2011.
- [13] E. DE Del Comportamiento Dinámico La Banda De Rodadura De Un Neumático, “UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA.”