



ING. AUTOMOTRIZ

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

AUTORES:

Eduardo Sebastián Loyo Guerrero
José Hugo Grande Velasquez

TUTOR:

Ing. Juan Fernando Íñiguez Izquierdo

Criterios técnicos para la selección de pastillas de freno en
vehículos livianos urbanos bajo condiciones de operación
intensiva.

APROBACIÓN DEL TUTOR

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

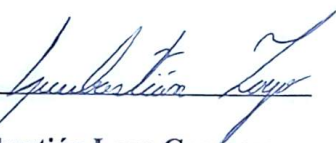


Juan Fernando Íñiguez Izquierdo

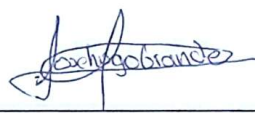
CERTIFICACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros, **Eduardo Sebastián Loyo Guerrero** y **José Hugo Grande Velasquez**, 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.



Eduardo Sebastián Loyo Guerrero



José Hugo Grande Velasquez

DEDICATORIA

Dedico este trabajo, que representa el cierre de una de las etapas más importantes de mi vida, a todas las personas que formaron parte de este camino y dejaron una huella a lo largo de la vida universitaria: compañeros, amigos, mentores, líderes, familia y quienes, de una u otra manera, aportaron al crecimiento personal y profesional vivido durante estos años.

A Dios, por la guía, las oportunidades y las puertas abiertas que hicieron posible alcanzar esta meta.

A mis padres, por el amor, apoyo, sacrificio y confianza brindados durante todo este proceso.

A los líderes y mentores que brindaron oportunidades, confianza y enseñanzas que trascendieron más allá de las aulas y trabajo.

A los amigos, por convertirse en apoyo, motivación y compañía en los momentos difíciles y también en los mejores recuerdos de esta etapa.

A un gran amigo y ahora colega, con quien fue posible desarrollar este trabajo gracias al esfuerzo y compromiso compartidos. Que este sea solo el inicio de muchos proyectos más.

A quienes ya no están físicamente presentes, pero cuya memoria y enseñanzas permanecen en cada logro alcanzado.

También a las personas y experiencias que hicieron de esta etapa algo más intensa, humana e inolvidable, porque durante estos años no solo hubo aprendizaje académico, sino también emociones, cambios y momentos que formaron parte del crecimiento vivido.

Finalmente, a la perseverancia y al esfuerzo invertido durante todo este proceso, entendiendo que culminar esta etapa no representa un final, sino el comienzo de nuevos retos, metas y oportunidades por construir.

Sebastián L.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a Dios, fuente de mi fortaleza, guía y esperanza; gracias a Él he encontrado el coraje, la sabiduría y las oportunidades para avanzar. A mis padres, quienes con su amor incondicional, apoyo constante y sacrificio me han permitido llegar hasta aquí. A mis hermanos, por su aliento en cada paso, impulsándome a superarme. A mis amigos, en especial a dos grandes compañeros: uno, por recordarme que con esfuerzo y dedicación todo es posible; y al segundo, quien, en las alegrías y en las dificultades, siempre ha estado a mi lado, ofreciéndome su apoyo incondicional y recordándome que no estoy solo en este camino. A Dios, por darme la fe para seguir adelante, y a todos ellos, por ser mi fuerza y mi inspiración

Hugo G.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer primero a Dios, porque a lo largo de esta etapa siempre sentí que estuvo presente en cada oportunidad, en cada puerta que se abrió.

A mi madre, gracias por absolutamente todo. Detrás de este logro existen años de esfuerzo, sacrificio, paciencia y amor, que hicieron posible que hoy pueda terminar esta etapa. Sin ti, sinceramente, nada de esto habría sido posible.

A mi padre, por cada consejo, conversación y enseñanza que aportó a mi formación personal y profesional durante todos estos años.

A mi familia, que me han apoyado incondicionalmente, y de manera especial, a quienes ya no están físicamente presentes, pero siguen formando parte importante de mi vida y de cada logro alcanzado.

A las personas que me dieron la oportunidad de trabajar y aprender profesionalmente mientras atravesaba esta etapa universitaria. Gracias por la confianza.

A mi colega y compañero de tesis, gracias por el compromiso y el esfuerzo compartido durante el desarrollo de este trabajo. Haber recorrido este proceso en equipo hizo posible culminarlo de la mejor manera, y espero que este sea solo el inicio de muchos proyectos más.

A mis amigos, gracias por hacer que los años universitarios fueran mucho más que clases, tareas y estrés. Gracias por las conversaciones, las risas, el apoyo en los momentos difíciles y por convertirse muchas veces en ese equilibrio necesario.

Y también gracias a esa persona y momentos que hicieron de esta etapa algo inolvidable. La universidad no solo dejó conocimientos académicos, sino también aprendizajes personales, emociones, cambios y experiencias que ayudaron a construir la persona que soy hoy.

Finalmente, gracias a mí mismo por no rendirme. Porque, aunque hubo momentos de cansancio, dudas y dificultades, nunca dejé de avanzar. Terminar esta etapa representa mucho más que obtener un título; representa crecimiento, madurez y el inicio de nuevos retos y objetivos por alcanzar.

Sebastián L.

AGRADECIMIENTOS

Primero, quiero agradecer a Dios, por darme la fuerza, la sabiduría y la fe inquebrantable para culminar esta tesis. Gracias a Él, he sabido mantenerme fiel a mis propósitos, aun en los momentos más difíciles. A mis padres, por estar siempre a mi lado, proveyéndome no solo de amor, sino de cada material, instrumento y apoyo necesario, sin importar las circunstancias. A mis hermanos, por su infinita paciencia y sus palabras de aliento, que me impulsaron a no rendirme. A mi tutor, cuyo apoyo y guía hicieron que este trabajo se desarrollara sin mayor complejidad. A dos grandes compañeros: el primero, quien siempre me mostró que todo ocurre por algo, que las caídas se superan, y que, con perseverancia, uno alcanza los sueños; y el segundo, mi compañero de tesis, por darme la oportunidad de trabajar a su lado, enseñándome que los sueños se alcanzan con dedicación y que, pese a cualquier obstáculo, siempre debemos levantarnos más fuertes. Finalmente, quiero agradecer a todos aquellos que, aunque ya no están, me dejaron una gran lección: me enseñaron que, aun cuando la vida nos quiebra, siempre hay un motor interno que nos impulsa a seguir adelante, y que tras cada caída, existe una oportunidad de renacer más fuertes. Gracias a todos ustedes por enseñarme que, pese a cualquier circunstancia, siempre hay un motivo de esperanza y fortaleza

Hugo. G

Índice de contenido

CERTIFICACIÓN DE AUTORÍA	III
APROBACIÓN DEL TUTOR.....	IV
DEDICATORIA	V
DEDICATORIA	VI
AGRADECIMIENTOS.....	VII
AGRADECIMIENTOS.....	VIII
RESUMEN.....	XI
Introducción	XII
Marco Teórico	XIII
1. Sistema de frenos	XIII
2. Dinámica de frenado	XIV
2.1. Fuerzas actuantes en la desaceleración.....	XIV
2.2. Transferencia de carga en el eje delantero	XV
3. Materiales de fricción.....	XVI
3.1. Tipos de compuestos	XVI
3.2. Propiedades tribológicas y térmicas	XVI
4. Coeficiente de fricción	XVII
5. Brake fade	XVII
6. Distancia de frenado.....	XVIII
7. Normativa NTE INEN 2185:2012	XVIII
8. Normativa UNECE R13-H	XIX
Materiales y Métodos.....	XX
1. Tipo y diseño de investigación	XX
2. Referencia normativa utilizada.....	XXI
3. Lugar de estudio	XXII
4. Vehículo de estudio	XXII
5. Materiales e instrumentos.....	XXIII
6. Procedimiento experimental general.....	XXIV
6.1. Prueba 1: Frenado controlado inicial.....	XXIV
6.2. Prueba 2: Ruta urbana tipo taxi	XXV
6.3. Prueba 3: Frenada controlada final posterior a la ruta.....	XXV

6.4. Prueba 4: Ciclo completo de operación urbana tipo taxi	XXVI
7. Variables analizadas	XXVI
8. Análisis de datos	XXVII
Resultados y Discusión	XXVIII
1. Resultados de la prueba controlada inicial	XXVIII
2. Resultados de la prueba en ruta urbana tipo taxi	XXX
3. Resultados de la frenada controlada final posterior a la ruta	XXXII
4. Resultados del ciclo complementario de operación urbana tipo taxi	XXXII
5. Discusión general	XXXIV
Conclusiones	XXXVI
Referencias	XXXVIII
Anexos	XL

CRITERIOS TÉCNICOS PARA LA SELECCIÓN DE PASTILLAS DE FRENO EN VEHÍCULOS LIVIANOS URBANOS BAJO CONDICIONES DE OPERACIÓN INTENSIVA.

Ing. Juan Ñíguez. MSc¹, Sebastián Loyo G.², Hugo Grande V.³

¹ *Ingeniería Automotriz - Universidad Internacional del Ecuador, email jiniguez@uide.edu.ec, Quito – Ecuador*

² *Ingeniería Automotriz – Universidad Internacional del Ecuador, email edloyogu@uide.edu.ec, Quito – Ecuador*

³ *Ingeniería Automotriz Universidad Internacional del Ecuador, email jograndeve@uide.edu.ec, Quito - Ecuador*

RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivo desarrollar un criterio técnico de selección de pastillas de freno para vehículos livianos de uso urbano intensivo, tomando como caso de análisis un Chevrolet Aveo Activo 1.6 homologado para servicio de taxi en la ciudad de Quito. La investigación se desarrolló bajo un enfoque aplicado, cuantitativo y experimental, comparando dos compuestos comerciales de pastillas de freno marca Gold: CARBONO L035 FF y cerámica MTF602GF. Para ello, se realizaron cuatro etapas experimentales: una prueba controlada inicial de frenado desde 50 km/h, una prueba en ruta urbana tipo taxi con pendientes, rompe velocidades, señales de pare y tráfico liviano, una frenada controlada final posterior a la ruta y un ciclo complementario de operación urbana de 6 horas y 180 km por material. Se registraron variables como distancia de frenado, temperatura superficial del disco, número aproximado de frenadas, respuesta del sistema, desgaste dimensional y costo de adquisición. Los resultados mostraron que las pastillas cerámicas presentaron una menor distancia promedio de frenado inicial, con 10,04 m frente a 12,71 m de las pastillas CARBONO, equivalente a una reducción del 21,0 %. En la frenada posterior a la ruta, la cerámica redujo la distancia de detención en 25,2 % y la temperatura final en 14,2 %. En el ciclo complementario, las cerámicas alcanzaron una temperatura máxima de 113,88 °C frente a 148,65 °C de las CARBONO. Sin embargo, las CARBONO presentaron menor desgaste, con 0,05 mm frente a 0,10 mm de las cerámicas, y menor costo inicial. Se concluye que, para el caso evaluado, las pastillas cerámicas presentaron mejor estabilidad térmica y desempeño de frenado, mientras que las CARBONO ofrecieron ventajas en desgaste y costo.

Palabras clave: Pastillas de freno, material de fricción, distancia de frenado, temperatura, taxi urbano.

ABSTRACT

This study aimed to develop a technical selection criterion for brake pads for light vehicles used intensively in urban areas, using a Chevrolet Aveo Activo 1.6, approved for taxi service in the city of Quito, as a case study. The research was conducted using an applied, quantitative, and experimental approach, comparing two commercial brake pad compounds from the Gold brand: CARBONO L035 FF and MTF602GF ceramic. Four experimental stages were performed: an initial controlled braking test from 50 km/h, a test on a typical taxi route with inclines, speed bumps, stop signs, and light traffic, a final controlled braking test after the route, and a complementary urban operating cycle of 6 hours and 180 km per material. Variables such as braking distance, disc surface temperature, approximate number of braking cycles, system response, dimensional wear, and acquisition cost were recorded. The results showed that the ceramic brake pads exhibited a shorter average initial braking distance, at 10.04 m compared to 12.71 m for the CARBONO pads, equivalent to a 21.0% reduction. In the post-cycle braking test, the ceramic pads reduced the stopping distance by 25.2% and the final temperature by 14.2%. In the final cycle, the ceramic pads reached a maximum temperature of 113.88 °C compared to 148.65 °C for the CARBONO pads. However, the CARBONO pads showed less wear, at 0.05 mm compared to 0.10 mm for the ceramic pads, and a lower initial cost. It is concluded that, for the evaluated case, the ceramic pads offered better thermal stability and braking performance, while the CARBONO pads offered advantages in wear and cost.

Keywords: Brake pads, friction material, braking distance, temperature, urban taxi.

Introducción

El sistema de frenos constituye uno de los subsistemas más relevantes en la seguridad activa del vehículo, ya que permite disipar la energía cinética mediante fricción controlada, garantizando una desaceleración estable bajo diferentes condiciones de operación (Ilie & Cristescu, 2022). En entornos urbanos de alta exigencia, como el servicio de taxi en ciudades con topografía compleja, este sistema se ve sometido a ciclos continuos de aceleración y frenado, congestión vehicular y variaciones en la pendiente de la vía, lo que incrementa significativamente la carga térmica y mecánica sobre sus componentes.

En la ciudad de Quito, una gran parte de los vehículos livianos destinados al transporte público individual opera bajo estas condiciones. Sin embargo, en la práctica del mantenimiento automotriz, la selección de pastillas de freno suele basarse principalmente en criterios económicos o de disponibilidad, sin considerar variables técnicas como el peso del vehículo en condiciones reales, el comportamiento térmico del sistema o las propiedades del material de fricción. Estudios recientes indican que, en condiciones urbanas, el desgaste de las pastillas puede incrementarse hasta en un 35 %, mientras que en entornos montañosos este valor puede alcanzar incrementos cercanos al 50 % (ACEA, 2023).

La falta de criterios técnicos adecuados puede derivar en problemas como desgaste prematuro, pérdida de eficiencia por efecto de *brake fade* y aumento de la distancia de frenado, comprometiendo la seguridad del vehículo (Voloacă et al., 2025). Asimismo, investigaciones experimentales han demostrado que condiciones de alta exigencia térmica pueden acelerar la degradación del material de fricción, reduciendo su vida útil (Barros, Ferreira & Neis, 2022). A nivel global, organismos como la Organización Mundial de la Salud destacan que las fallas en sistemas críticos, como el de frenado, contribuyen significativamente a la siniestralidad vial (OMS, 2023).

Desde el punto de vista ingenieril, el desempeño del sistema de frenos depende en gran medida de la capacidad del material de fricción para mantener un coeficiente de fricción estable dentro de su rango de operación térmica. Sin embargo, no existe un material universalmente óptimo, ya que su comportamiento depende de las condiciones de uso y del perfil de operación del vehículo (Cevallos-Cevallos et al., 2025). En este contexto, normativas internacionales como el reglamento ECE R90 establecen la necesidad de validar experimentalmente el desempeño de las pastillas de freno de reemplazo, garantizando un comportamiento comparable al del equipo original (UNECE, 2022).

En este sentido, el presente estudio tiene como objetivo general desarrollar un criterio técnico de selección de pastillas de freno para vehículos livianos de uso urbano intensivo, mediante el análisis de las condiciones dinámicas de operación, las características de los materiales de fricción disponibles comercialmente y la validación experimental del desempeño de frenado en condiciones reales controladas, con el propósito de garantizar parámetros adecuados de seguridad y eficiencia operativa en el mantenimiento automotriz del contexto local.

Para cumplir con este objetivo, se plantean como objetivos específicos: caracterizar las condiciones dinámicas y operativas de un vehículo representativo de uso urbano intensivo, considerando parámetros como el peso bruto vehicular en condiciones reales de carga y las características del sistema de frenos; analizar las especificaciones técnicas de diferentes compuestos de pastillas de freno disponibles en el mercado, en función de su coeficiente de fricción y rango térmico de operación; relacionar las propiedades del material de fricción con las exigencias dinámicas y térmicas del sistema durante el proceso de desaceleración; y evaluar experimentalmente el desempeño de los compuestos seleccionados mediante pruebas controladas y en condiciones reales de operación, registrando variables como distancia de frenado y temperatura del sistema.

Marco Teórico

1. Sistema de frenos

El sistema de frenos constituye uno de los elementos más importantes para la seguridad del vehículo, ya que permite reducir la velocidad o detener completamente el automotor de forma controlada mediante la acción del conductor sobre el pedal de freno (Vilatuña, 2023). Su correcto funcionamiento no solo garantiza la seguridad de los ocupantes, sino que también contribuye a la estabilidad y control del vehículo durante la conducción (Ramos, 2020).

Desde el punto de vista técnico, el sistema de frenado debe ser capaz de disipar grandes cantidades de energía cinética en forma de calor en cortos periodos de tiempo, especialmente en condiciones de alta exigencia. Un sistema eficiente mejora la capacidad de frenado, reduce la distancia de detención y disminuye el riesgo de accidentes o fallas mecánicas (Vilatuña, 2023).

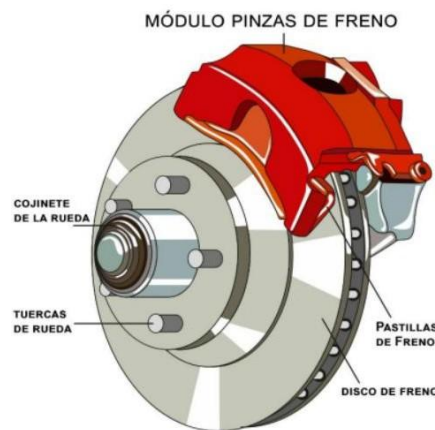
En vehículos modernos, el sistema de frenos de disco es el más utilizado en el eje delantero debido a su mayor capacidad de disipación térmica y mejor rendimiento en comparación con otros sistemas. Este sistema está compuesto principalmente por el disco de

freno, las pastillas, la pinza (caliper) y el sistema hidráulico, el cual transmite la fuerza aplicada por el conductor hacia los elementos de frenado (Vilatuña, 2023; Ramos, 2020).

El principio de funcionamiento se basa en la fricción generada cuando las pastillas presionan el disco en rotación, lo que provoca la conversión de energía cinética en energía térmica y permite disminuir progresivamente la velocidad del vehículo hasta su detención (Ramos, 2020).

Figura 1

Partes de Freno de disco



Fuente: (expertoautorecambios, 2017)

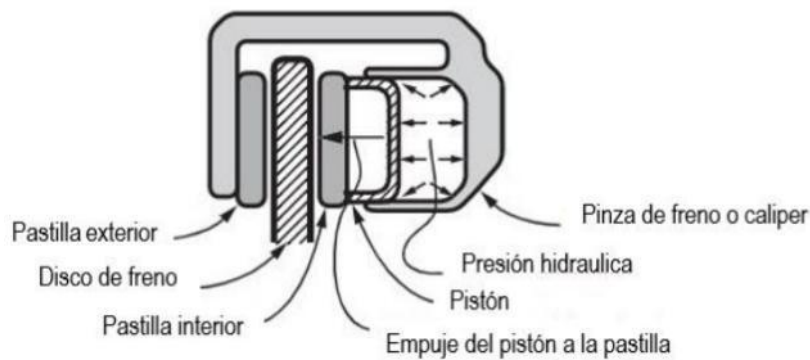
2. Dinámica de frenado

2.1. Fuerzas actuantes en la desaceleración

Cuando un vehículo se encuentra en movimiento, posee energía cinética directamente relacionada con su masa y velocidad. Durante el proceso de frenado, esta energía debe ser disipada mediante la aplicación de una fuerza en sentido opuesto al movimiento, lo que genera la desaceleración del vehículo (Albornoz, 2022).

Figura 2

Esquema de la pinza de freno y el resto de los elementos del conjunto de frenado



Fuente: (Kinkaid, N.M, O'Reilly, O. M, Papadopoulos. "Automotive disc brake squeal", 2003)

El proceso de frenado se fundamenta en la conversión de energía cinética en energía térmica, producto del contacto entre los elementos del sistema de frenos, como el disco y las pastillas. La magnitud de la fuerza de frenado está limitada por la fricción existente entre el neumático y la superficie de la vía, la cual depende de la carga normal sobre la rueda y del coeficiente de fricción entre ambas superficies (Albornozo, 2022).

En este sentido, tanto la fuerza de frenado como la fuerza de fricción actúan en dirección opuesta al movimiento del vehículo. Un incremento de estas fuerzas permite mejorar la capacidad de desaceleración, siempre que no se supere el límite de adherencia disponible (Ramos, 2020).

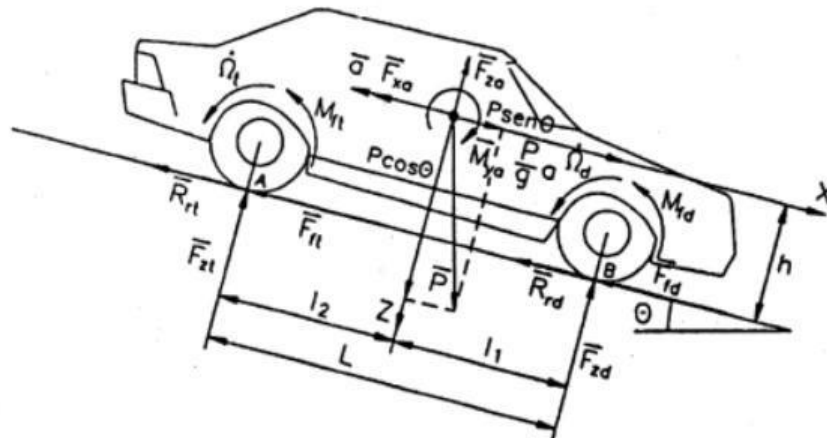
2.2. Transferencia de carga en el eje delantero

Durante la desaceleración se produce un fenómeno conocido como transferencia de carga, en el cual el peso del vehículo se redistribuye desde el eje trasero hacia el delantero debido a los efectos inerciales (Criollo e Iñiguez, 2022).

Este fenómeno está directamente relacionado con la altura del centro de gravedad, la distancia entre ejes y la magnitud de la desaceleración. Como consecuencia, se incrementa la carga normal en las ruedas delanteras y disminuye en las traseras, lo que permite que el eje delantero genere mayores fuerzas de frenado sin perder adherencia (Criollo e Iñiguez, 2022).

Figura 3

Solicitaciones que actúan sobre un vehículo en el proceso de frenado



Fuente: (M. Pacheco B, Diseño automotriz, 2017)

Por esta razón, en la mayoría de los vehículos livianos el sistema de frenos está diseñado de manera que el eje delantero asuma la mayor parte del esfuerzo de frenado.

3. Materiales de fricción

3.1. Tipos de compuestos

Las pastillas de freno se clasifican principalmente según el material de fricción utilizado, destacándose tres tipos principales: orgánicas, semimetálicas y cerámicas. Cada una presenta características particulares en términos de rendimiento, desgaste y comportamiento térmico (Vilatuña, 2023).

Las pastillas semimetálicas contienen entre un 30 % y 60 % de componentes metálicos, lo que les permite ofrecer alta resistencia al desgaste y buena conductividad térmica, siendo adecuadas para condiciones de frenado exigente (Essam, 2025). Por otro lado, las pastillas orgánicas están compuestas por fibras naturales o sintéticas, resinas y modificadores de fricción, destacándose por su bajo nivel de ruido y suavidad, aunque presentan menor durabilidad y resistencia térmica (Essam, 2025).

Finalmente, las pastillas cerámicas se caracterizan por su estabilidad, baja generación de ruido y menor desgaste, siendo utilizadas principalmente en vehículos de mayor gama o aplicaciones donde se requiere mayor desempeño (Essam, 2025).

3.2. Propiedades tribológicas y térmicas

El comportamiento de los materiales de fricción está determinado por sus propiedades tribológicas y térmicas, las cuales influyen directamente en el desempeño del sistema de

frenado. Entre estas propiedades destacan el coeficiente de fricción, la resistencia al desgaste y la capacidad de disipación de calor (Aguirre, 2022).

Desde el punto de vista tribológico, el rendimiento depende de la interacción entre la pastilla y el disco, donde el coeficiente de fricción puede variar en función de la carga aplicada y la velocidad de deslizamiento. Asimismo, el comportamiento térmico es fundamental, ya que el proceso de frenado genera altas temperaturas que pueden afectar la estabilidad del sistema (Aguirre, 2022).

En este contexto, la selección del material de fricción debe considerar un equilibrio entre resistencia al desgaste, estabilidad térmica y capacidad de mantener un coeficiente de fricción adecuado bajo diferentes condiciones de operación.

4. Coeficiente de fricción

El coeficiente de fricción es un parámetro fundamental en el funcionamiento del sistema de frenos, ya que determina la capacidad de generar fuerza de frenado entre la pastilla y el disco. Este coeficiente no es constante, sino que depende de variables como la temperatura, la presión de contacto y la velocidad de deslizamiento (Bellini et al., 2024; Ma et al., 2023; Chen et al., 2023).

En condiciones normales de operación, los materiales de fricción presentan valores de coeficiente entre 0,2 y 0,6, lo que permite un equilibrio entre eficiencia de frenado y control del desgaste (Bellini et al., 2024). Sin embargo, este valor puede variar significativamente con la temperatura.

Estudios experimentales han demostrado que el coeficiente de fricción puede incrementarse en rangos de temperatura moderados, pero al superar ciertos niveles (250–300 °C), disminuye de forma considerable, dando lugar al fenómeno conocido como brake fade (Bellini et al., 2023; Ma et al., 2023).

Además, la composición del material influye directamente en la estabilidad del coeficiente de fricción, ya que diferentes combinaciones de componentes permiten mejorar el desempeño en distintos rangos de temperatura y condiciones de operación (Chen et al., 2023; Bellini et al., 2024).

5. Brake fade

El fenómeno de *brake fade* se presenta cuando el sistema de frenos es sometido a condiciones de uso intensivo, como frenadas repetidas o prolongadas, lo que genera una acumulación progresiva de calor en la interfaz pastilla–disco.

En estas condiciones, la temperatura puede alcanzar valores entre 250 °C y 475 °C, provocando una disminución significativa del coeficiente de fricción. Como consecuencia, se reduce la eficiencia del frenado y aumenta la distancia necesaria para detener el vehículo, comprometiendo la seguridad del sistema (Zhang et al., 2025).

6. Distancia de frenado

La distancia de frenado es uno de los principales indicadores del desempeño del sistema de frenos y depende de múltiples factores, entre ellos la velocidad inicial, la masa del vehículo y el coeficiente de fricción disponible.

Diversos estudios han demostrado que la disminución del coeficiente de fricción, especialmente bajo condiciones de alta temperatura, provoca una reducción en la capacidad de desaceleración, lo que se traduce en un aumento de la distancia de detención (Zhang et al., 2025; Soni, 2026; Zhao, 2025).

Asimismo, el incremento de la temperatura del sistema de frenado reduce la eficiencia del proceso, ya que el material de fricción pierde estabilidad térmica, lo que afecta directamente el rendimiento del sistema. En condiciones reales, este comportamiento se intensifica en situaciones de uso urbano intensivo, donde las frenadas son frecuentes y la disipación de calor se vuelve crítica (Ma et al., 2023; Chen et al., 2025).

7. Normativa NTE INEN 2185:2012

A nivel nacional, la norma técnica ecuatoriana NTE INEN 2185:2012 establece criterios para la clasificación de los materiales de fricción utilizados en sistemas de frenos de vehículos automotores. Esta norma resulta relevante para la presente investigación, debido a que permite interpretar técnicamente la designación comercial de las pastillas de freno evaluadas, especialmente en relación con el coeficiente de fricción del material.

Según la NTE INEN 2185:2012, los materiales de fricción se clasifican de acuerdo con el valor del coeficiente de fricción (μ), utilizando un código alfabético. La norma establece rangos de clasificación donde, por ejemplo, la letra F corresponde a un coeficiente de fricción mayor que 0,35 y menor o igual que 0,45; la letra G corresponde a valores mayores que 0,45 y menores o iguales que 0,55; y la letra H identifica materiales con coeficiente superior a 0,55 (INEN, 2012).

Además, la norma señala que la designación del material de fricción se realiza mediante dos caracteres. La primera letra representa el coeficiente de fricción en condición normal, mientras que la segunda corresponde al coeficiente de fricción en caliente. Esta

clasificación permite relacionar el comportamiento del material con su desempeño térmico, aspecto fundamental en sistemas sometidos a frenadas repetitivas y acumulación de temperatura, como ocurre en vehículos de uso urbano intensivo.

En este sentido, la clasificación INEN aporta un criterio técnico útil para la interpretación de las pastillas evaluadas en el presente estudio. Por ejemplo, una designación **FF** indica que el material mantiene un coeficiente de fricción dentro del rango F tanto en condición normal como en caliente, mientras que una designación **GF** sugiere un coeficiente más alto en condición normal y un comportamiento dentro del rango F en caliente. Esta información es relevante porque permite comparar los datos experimentales de distancia de frenado y temperatura superficial del disco con la clasificación técnica declarada para cada compuesto.

Por tanto, la NTE INEN 2185:2012 no solo sirve como referencia normativa nacional, sino también como apoyo para justificar que la selección de pastillas de freno debe considerar el coeficiente de fricción y su estabilidad térmica, y no únicamente el costo o la disponibilidad comercial del producto.

8. Normativa UNECE R13-H

Para el desarrollo metodológico se tomó como referencia principal el Reglamento UNECE R13-H, debido a que establece disposiciones para la aprobación de vehículos de categorías M1 y N1 respecto al sistema de frenado. Esta normativa define que el desempeño del sistema puede evaluarse mediante la medición de la distancia de detención en relación con la velocidad inicial del vehículo, así como mediante la desaceleración media plenamente desarrollada. Además, establece condiciones generales de ensayo relacionadas con la masa del vehículo, velocidad de prueba, estado de la superficie, presión de neumáticos, estabilidad durante la frenada y ausencia de bloqueo o desviaciones anormales.

En este estudio, la UNECE R13-H no se aplicó como ensayo de homologación, sino como guía técnica para estructurar las pruebas experimentales en campo. Por ello, se consideraron sus criterios generales de velocidad inicial, medición de distancia de frenado, condición de carga, superficie seca con buena adherencia y evaluación del desempeño después de ciclos de calentamiento. Esta adaptación resulta coherente con el alcance de la investigación, ya que el objetivo no es homologar el sistema de frenos, sino comparar el comportamiento de dos materiales de pastillas bajo condiciones reales de operación urbana intensiva.

Materiales y Métodos

1. Tipo y diseño de investigación

La presente investigación se desarrolló bajo un enfoque aplicado, cuantitativo y experimental, orientado a comparar el comportamiento de dos compuestos comerciales de pastillas de freno en un vehículo liviano de uso urbano intensivo. El estudio se estructuró mediante pruebas controladas de frenado, pruebas en ruta urbana tipo taxi y una prueba complementaria de jornada prolongada, con el propósito de evaluar el desempeño de los materiales de fricción en función de la distancia de frenado, temperatura superficial del disco, estabilidad de respuesta, desgaste dimensional y costo de adquisición.

La variable independiente fue el tipo de material de fricción de la pastilla de freno, comparando pastillas Gold MTF602GF de compuesto cerámico y pastillas Gold L035 FF de compuesto carbono. Como variables dependientes se consideraron la distancia de frenado, la temperatura superficial del disco y el desgaste dimensional de las pastillas. También se registraron variables complementarias como número aproximado de frenadas, comportamiento del pedal, presencia de ruido, respuesta percibida del sistema de frenos y costo de adquisición.

Tabla 1.

Variables consideradas en la investigación

Tipo de variable	Variable	Descripción	Tratamiento en el estudio
Independiente	Tipo de material de fricción	Pastillas Gold MTF602GF cerámicas y Gold L035 FF CARBONO	Comparación experimental entre materiales
Dependiente	Distancia de frenado	Distancia recorrida desde el punto de frenado hasta la detención del vehículo	Medición en metros en pruebas controladas
Dependiente	Temperatura superficial del disco	Temperatura registrada en el disco delantero durante las pruebas	Medición con termómetro infrarrojo
Dependiente	Desgaste dimensional	Pérdida de espesor de la pastilla luego de la prueba prolongada	Medición con calibrador Vernier
Complementaria	Número aproximado de frenadas	Cantidad de accionamientos del freno durante ciclos de ruta	Conteo manual durante la prueba
Complementaria	Respuesta del frenado	Percepción del comportamiento del sistema: normal, más largo, menor respuesta o chillido	Observación cualitativa del conductor/evaluador
Complementaria	Costo de adquisición	Precio de compra de cada juego de pastillas	Registro mediante recibos anexados
Controlada	Vehículo de prueba	Chevrolet Aveo Activo 1.6, año 2012, homologado para taxi	Se mantuvo constante

Controlada	Conductor	Conductor profesional con licencia tipo E, 85 kg	Se mantuvo constante
Controlada	Carga	Conductor y pasajero de 90 kg en la prueba complementaria	Se mantuvo constante
Controlada	Ruta urbana	Recorrido dentro de Quito por norte, centro y sur	Se mantuvo equivalente para ambos materiales
Controlada	Temperatura ambiente	17 °C en ambas jornadas de la prueba complementaria	Se registró como condición de comparación
No medida	Dureza del material	Propiedad que puede influir en desgaste, ruido y comportamiento de fricción	Se reconoce como limitación por falta de durómetro
No medida	Fuerza de pedal y presión hidráulica	Variables que influyen en la fuerza real de frenado	No medidas por limitación instrumental

Fuente. Elaboración propia

La dureza del material de fricción se considera una variable relevante, debido a que puede influir en el desgaste, ruido y estabilidad del contacto pastilla-disco. Sin embargo, en este estudio no fue medida directamente mediante durómetro, por lo que se reconoce como una limitación metodológica. Por esta razón, el análisis se enfocó en variables funcionales medibles en campo: distancia de frenado, temperatura superficial del disco, desgaste dimensional y costo de adquisición.

Para efectos de esta investigación, se definió como operación urbana intensiva aquella condición en la que el vehículo realiza ciclos repetitivos de aceleración y frenado dentro de una zona urbana, con presencia de pendientes, rompe velocidades, señales de pare, rectas cortas, tráfico variable y carga de pasajeros. Esta condición busca representar el uso habitual de un taxi urbano, donde el sistema de frenos trabaja de manera frecuente y con acumulación progresiva de temperatura.

2. Referencia normativa utilizada

El procedimiento experimental fue adaptado tomando como referencia criterios generales establecidos en la normativa UNECE R13-H, la cual regula la evaluación del sistema de frenado en vehículos de categorías M1 y N1. Esta normativa considera aspectos como condición de carga del vehículo, velocidad inicial definida, superficie con buena adherencia, estabilidad direccional durante la frenada, ausencia de bloqueo evidente de ruedas, ausencia de vibraciones anormales y medición de la distancia de detención como parámetro de desempeño del sistema de frenado.

Sin embargo, es importante señalar que el presente estudio no corresponde a un ensayo de homologación bajo UNECE R13-H, debido a que no se empleó instrumentación normativa para medir fuerza de pedal, presión hidráulica, desaceleración media plenamente desarrollada o ángulo de guiñada. Por tanto, la norma fue utilizada como una guía metodológica para estructurar pruebas de campo bajo condiciones controladas y comparables.

Adicionalmente, las pastillas de freno utilizadas indicaban en su empaque referencia a la norma NTE INEN 2185:2012. Por esta razón, dicha norma se considera como referencia nacional asociada al producto comercial evaluado. No obstante, el procedimiento experimental desarrollado no reproduce de forma exacta los ensayos definidos por esta norma, sino que analiza el comportamiento real de componentes comercialmente disponibles bajo condiciones de operación urbana intensiva.

3. Lugar de estudio

Las pruebas se realizaron en la ciudad de Quito, Ecuador. Para las pruebas controladas de frenado se utilizó un tramo recto en el sector urbano de Santa Lucía, con superficie asfaltada seca, regular y sin presencia de baches visibles. Este tramo permitió realizar frenadas en línea recta, controlar el punto de aplicación del freno y medir la distancia de detención del vehículo.

El lugar fue seleccionado considerando criterios generales de la UNECE R13-H para ensayos de frenado en carretera, especialmente en lo relacionado con superficie de buena adherencia, condiciones climáticas estables, ausencia de lluvia, ausencia de viento perceptible que pudiera afectar la trayectoria del vehículo y posibilidad de mantener la circulación dentro del carril durante la frenada. Durante los ensayos no se observaron bloqueos sostenidos de ruedas, desviaciones laterales evidentes, pérdida de estabilidad ni vibraciones anormales del vehículo.

Para las pruebas de ruta se utilizaron recorridos urbanos dentro de Quito, incluyendo zonas del norte, centro y sur de la ciudad. La ruta fue seleccionada por representar condiciones reales de operación tipo taxi, con presencia de tráfico urbano, pendientes, intersecciones, semáforos, paradas frecuentes y frenadas repetitivas.

4. Vehículo de estudio

Se utilizó un Chevrolet Aveo Activo 1.6 del año 2012, homologado para servicio de taxi. El vehículo cuenta con sistema de frenos de disco ventilado en el eje delantero, con diámetro de 256 mm, y frenos de tambor en el eje posterior. El vehículo no dispone de

sistema antibloqueo ABS, lo cual permitió observar de manera directa el comportamiento del sistema de frenado bajo acción del conductor.

De acuerdo con los datos técnicos del vehículo, presenta un peso en vacío de 1125 kg y un peso bruto vehicular de 1535 kg. Antes de iniciar las pruebas se verificó el estado visual de los neumáticos, discos de freno, nivel del líquido de frenos y ausencia de fugas en el sistema hidráulico, con el fin de garantizar condiciones seguras de operación.

Las pruebas fueron realizadas por el mismo conductor, con licencia profesional tipo E, para reducir la variabilidad asociada al estilo de conducción. En la prueba controlada inicial se utilizó una carga compuesta por el conductor y un pasajero adicional. En la prueba de ruta urbana y en la frenada final posterior a la ruta se utilizó una carga representativa de operación tipo taxi, conformada por el conductor y dos pasajeros adicionales. Para la prueba complementaria de operación urbana tipo taxi de 6 horas y 180 km, la carga se mantuvo constante con el mismo conductor profesional, de 85 kg, y un pasajero de 90 kg.

5. Materiales e instrumentos

Se evaluaron dos juegos nuevos de pastillas de freno marca Gold, instalados únicamente en el eje delantero del vehículo:

- Pastillas de carbono, formulación Gold L035 FF.
- Pastillas cerámicas, formulación Gold MTF602GF.

Para el desmontaje e instalación de las pastillas se utilizaron herramientas mecánicas convencionales. Para la medición de las variables experimentales se emplearon los siguientes instrumentos:

- Cinta métrica de 5 m, utilizada para medir la distancia de frenado.
- Termómetro infrarrojo, utilizado para registrar la temperatura superficial del disco delantero.
- Velocímetro del vehículo, utilizado para controlar la velocidad inicial de ensayo.
- Banderines rojos, utilizados para delimitar el punto de inicio, punto de frenado y zona de medición.
- Elementos básicos de seguridad para señalizar el área de prueba.
- Calibrador Vernier, utilizado para medir el espesor inicial y final de las pastillas de freno en la prueba complementaria de operación urbana tipo taxi.

La temperatura del disco se midió inmediatamente después de cada frenada o ciclo de ruta, apuntando el termómetro infrarrojo hacia una zona similar del disco delantero, con el fin de mantener consistencia en el registro de datos.

6. Procedimiento experimental general

Antes de cada etapa se instaló el juego de pastillas correspondiente en el eje delantero del vehículo. Posteriormente, se realizó un procedimiento básico de asentamiento mediante accionamientos repetidos del pedal de freno y una vuelta de prueba, con el objetivo de estabilizar el contacto inicial entre la pastilla y el disco.

El procedimiento experimental se dividió en cuatro etapas: prueba controlada inicial de frenado, prueba en ruta urbana tipo taxi, frenada controlada final posterior a la ruta y ciclo complementario de operación urbana tipo taxi. Esta estructura permitió evaluar el desempeño inicial de los materiales, su comportamiento durante ciclos reales de operación, su capacidad de frenado después de la acumulación térmica y su desgaste durante una jornada prolongada.

6.1. Prueba 1: Frenado controlado inicial

La primera etapa consistió en una prueba controlada de frenado en línea recta, adaptada a partir de los criterios generales de la UNECE R13-H, en cuanto a velocidad inicial definida, medición de distancia de detención, condición de carga y estabilidad durante la frenada. La prueba no reproduce el ensayo normativo completo, pero sí adopta el principio de evaluación del desempeño mediante distancia de frenado.

Esta prueba se realizó en el sector de Santa Lucía, con el vehículo circulando en un tramo recto delimitado mediante banderines. El vehículo partió desde reposo, aceleró hasta alcanzar una velocidad aproximada de 50 km/h y, al cruzar el punto de frenado, el conductor aplicó una frenada completa hasta la detención total.

La velocidad de 50 km/h fue seleccionada por corresponder a una condición urbana representativa del contexto de Quito. La distancia de frenado se midió desde el punto de aplicación del freno hasta la posición final del eje delantero. Inmediatamente después de cada frenada se registró la temperatura superficial del disco delantero mediante el termómetro infrarrojo.

Para cada material se realizaron cuatro repeticiones, manteniendo el mismo tramo, conductor, velocidad inicial, método de medición y condición de carga compuesta por conductor y un pasajero.

6.2. Prueba 2: Ruta urbana tipo taxi

La segunda etapa correspondió a una prueba en ruta urbana, diseñada para simular condiciones reales de funcionamiento de un taxi en el sector de Santa Lucía. El recorrido incluyó pendientes, rectas, rompe velocidades, señales de pare y tráfico liviano, generando ciclos repetitivos de frenado y acumulación progresiva de temperatura en el sistema.

Para cada material se realizaron cuatro ciclos de ruta, con una duración aproximada de 10 minutos por ciclo. Las pruebas se realizaron con el mismo vehículo, mismo conductor, misma ruta y una carga constante compuesta por el conductor y dos pasajeros adicionales.

En cada ciclo se registró la temperatura inicial y final del disco, el número aproximado de frenadas realizadas y observaciones del comportamiento del sistema. Estas observaciones incluyeron respuesta normal del frenado, sensación de frenado más largo, menor respuesta y presencia de chillido.

Durante la prueba se mantuvo tráfico liviano. En el ensayo con pastillas de carbono se registró una temperatura ambiente de 20 °C y temperatura del asfalto de 32,9 °C. En el ensayo con pastillas cerámicas se registró una temperatura ambiente de 20 °C y temperatura del asfalto de 31,8 °C.

6.3. Prueba 3: Frenada controlada final posterior a la ruta

Al finalizar los ciclos de ruta de cada material se realizó una frenada controlada final, con el propósito de evaluar el desempeño del sistema después de la acumulación térmica generada durante la operación urbana. Esta etapa se relaciona con el principio de evaluación en caliente considerado por la UNECE R13-H, aunque adaptado al alcance de una prueba de campo y no como ensayo de homologación.

La prueba se ejecutó en el mismo tramo recto utilizado en la prueba controlada inicial. El vehículo aceleró nuevamente hasta una velocidad aproximada de 50 km/h y realizó una frenada completa desde el mismo punto de referencia. La prueba se efectuó casi de manera inmediata después de finalizar la ruta, con una pausa máxima aproximada de un minuto para registrar la temperatura previa del disco.

En esta etapa se registraron tres datos principales: temperatura del disco antes de la frenada final, distancia de frenado final y temperatura del disco después de la frenada. La medición de distancia se realizó desde el punto de frenado hasta el eje delantero, manteniendo el mismo criterio utilizado en la prueba inicial. La carga del vehículo fue la misma de la prueba en ruta, es decir, conductor y dos pasajeros adicionales.

6.4. Prueba 4: Ciclo completo de operación urbana tipo taxi

Con el fin de fortalecer la evaluación experimental y responder a la necesidad de analizar condiciones más cercanas al funcionamiento real de un taxi urbano, se incorporó una cuarta prueba complementaria de ruta. Esta etapa tuvo como propósito evaluar el comportamiento térmico, el desgaste y el costo asociado a cada material durante una jornada prolongada de circulación urbana.

La prueba se realizó en dos jornadas independientes. El lunes 1 de junio de 2026 se evaluaron las pastillas Gold MTF602GF de compuesto cerámico, mientras que el lunes 8 de junio de 2026 se evaluaron las pastillas Gold L035 FF de compuesto carbono. Cada jornada tuvo una duración aproximada de 6 horas y un recorrido total de 180 km dentro de Quito, considerando circulación por zonas del norte, centro y sur de la ciudad.

En ambas jornadas se utilizó el mismo vehículo, el mismo conductor profesional con licencia tipo E y una carga constante compuesta por el conductor de 85 kg y un pasajero de 90 kg. La temperatura ambiente registrada en ambas pruebas fue de 17 °C, con el fin de mejorar la comparabilidad entre materiales.

Durante la prueba se registró la temperatura superficial del disco delantero cada 20 minutos mediante termómetro infrarrojo. Las mediciones se realizaron procurando apuntar hacia una zona similar del disco y efectuarlas inmediatamente después de detener el vehículo. Además, se midió el espesor de las pastillas antes y después del recorrido mediante calibrador Vernier, con el fin de estimar el desgaste dimensional. El espesor inicial de ambos materiales fue de 10 mm. Al finalizar la prueba, las pastillas cerámicas presentaron un desgaste de 0,10 mm, mientras que las pastillas carbono presentaron un desgaste de 0,05 mm.

Para complementar el análisis técnico, se registró el costo de adquisición de cada juego de pastillas. Las pastillas cerámicas tuvieron un costo de USD 36,00, mientras que las pastillas carbono tuvieron un costo de USD 15,50.

7. Variables analizadas

Las variables principales del estudio fueron distancia de frenado, temperatura superficial del disco y desgaste dimensional de las pastillas. La distancia de frenado permitió evaluar la capacidad del sistema para detener el vehículo bajo condiciones controladas. La temperatura superficial permitió analizar el comportamiento térmico del conjunto disco-pastilla durante

frenadas repetitivas y operación urbana. El desgaste permitió complementar el análisis de durabilidad del material después de una jornada prolongada tipo taxi.

También se registraron variables complementarias como número aproximado de frenadas, observaciones del comportamiento del sistema, presencia de ruido, respuesta percibida del pedal y costo de adquisición. Como variables controladas se consideraron el vehículo, conductor, velocidad inicial, carga, ruta, método de medición, tipo de superficie y condiciones ambientales registradas.

La dureza del material se reconoce como una variable relevante que puede influir en la efectividad del frenado, desgaste, ruido y estabilidad del contacto pastilla-disco. Sin embargo, no fue medida directamente mediante durómetro debido a limitaciones instrumentales. Por esta razón, se considera como una variable no medida y se incorpora dentro de las limitaciones del estudio.

8. Análisis de datos

Los datos obtenidos fueron organizados en tablas comparativas para cada material evaluado. En la prueba controlada inicial se calcularon los valores promedio de distancia de frenado y temperatura final del disco. En la prueba en ruta se analizó el incremento térmico por ciclo, temperatura máxima alcanzada, número aproximado de frenadas y frecuencia de observaciones asociadas a pérdida de respuesta o presencia de ruido.

Para fortalecer la interpretación de los resultados, se aplicó estadística descriptiva mediante el cálculo de promedio, desviación estándar, coeficiente de variación y porcentajes comparativos entre materiales. Estos indicadores permitieron evaluar no solo el valor medio de distancia y temperatura, sino también la dispersión de los datos y la estabilidad de respuesta de cada compuesto.

En la prueba complementaria de operación urbana tipo taxi se analizaron la evolución térmica durante 6 horas de circulación, temperatura máxima, temperatura promedio operativa, temperatura final, desgaste dimensional y costo de adquisición. A partir de estos datos se estructuró un criterio técnico de selección considerando desempeño térmico, respuesta de frenado, desgaste y costo-beneficio.

Resultados y Discusión

1. Resultados de la prueba controlada inicial

La primera prueba permitió comparar el desempeño inicial de los dos compuestos de pastillas de freno bajo una condición controlada de frenado en línea recta. El ensayo se realizó desde una velocidad aproximada de 50 km/h hasta la detención total del vehículo, registrando la distancia de frenado y la temperatura superficial del disco delantero.

Tabla 2.

Prueba controlada inicial con pastillas de carbono

Prueba	Temp. inicial disco (°C)	Distancia de frenado (m)	Temp. final disco (°C)
1	20,5	10,95	66,6
2	65,3	12,17	104,4
3	102,9	13,06	117,6
4	116,1	14,66	129,3
Promedio	76,2	12,71	104,48

Fuente. Auditoría propia

Tabla 3.

Prueba controlada inicial con pastillas cerámicas

Prueba	Temp. inicial disco (°C)	Distancia de frenado (m)	Temp. final disco (°C)
1	20,1	9,3	67,4
2	67,3	9,71	87,8
3	86,3	10,26	101,1
4	101,5	10,87	114,2
Promedio	68,8	10,04	92,63

Fuente. Auditoría propia

En esta prueba, las pastillas cerámicas registraron una distancia promedio de frenado de 10,04 m, mientras que las pastillas de carbono obtuvieron un promedio de 12,71 m. Esto representa una reducción aproximada del 21,0 % en la distancia de frenado a favor del compuesto cerámico. Además, la temperatura final promedio del disco fue menor con las pastillas cerámicas, con 92,63 °C, frente a 104,48 °C en las de carbono, equivalente a una reducción térmica aproximada del 11,3 %.

Tabla 4.

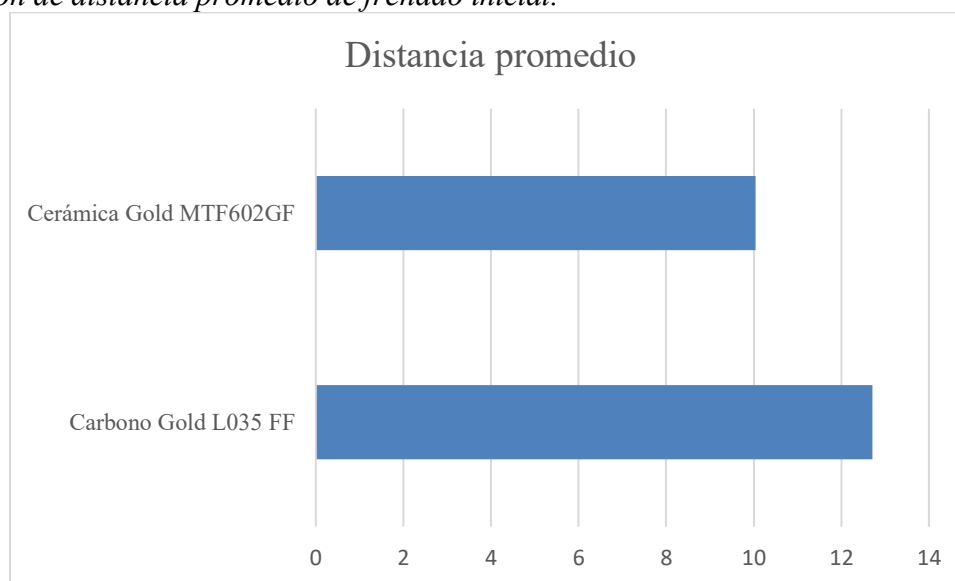
Análisis estadístico descriptivo de la prueba controlada inicial

Indicador	CARBONO	Cerámica
Distancia promedio inicial	12,71 m	10,04 m
Desviación estándar distancia	1,56 m	0,68 m
Coefficiente de variación distancia	12,3%	6,8%
Temperatura final promedio inicial	104,48 °C	92,63 °C
Desviación estándar temperatura	27,22 °C	19,97 °C
Coefficiente de variación temperatura	26,1%	21,6%

Fuente. Auditoría propia

Figura 4.

Comparación de distancia promedio de frenado inicial.



Fuente. Auditoría propia

La Figura 4 muestra que la distancia promedio de frenado fue menor con las pastillas cerámicas, lo que refuerza la tendencia observada en las repeticiones individuales de la prueba controlada inicial.

El análisis estadístico descriptivo permite observar que las pastillas cerámicas no solo presentaron menor distancia promedio de frenado, sino también menor dispersión en los resultados. El coeficiente de variación de la distancia fue de 6,8 % para el compuesto cerámico y de 12,3 % para las pastillas carbono, lo que indica una respuesta más uniforme

durante las repeticiones controladas. De igual manera, la temperatura final promedio fue menor en las cerámicas, con 92,63 °C frente a 104,48 °C en las carbono. Aunque ambos materiales incrementaron su temperatura durante las frenadas repetidas, el compuesto cerámico mostró un comportamiento más estable en la prueba inicial.

También se observa que, en ambos materiales, la distancia de frenado aumenta conforme se incrementa la temperatura inicial del disco. Sin embargo, este incremento fue más marcado en el compuesto de carbono, cuya distancia pasó de 10,95 m en la primera prueba a 14,66 m en la cuarta. En cambio, las pastillas cerámicas pasaron de 9,30 m a 10,87 m, mostrando una menor variación. Este comportamiento sugiere que el material cerámico mantuvo una respuesta más estable durante las frenadas repetidas.

Desde el punto de vista técnico, estos resultados coinciden con el comportamiento descrito en estudios sobre materiales de fricción, donde se señala que el coeficiente de fricción puede variar con la temperatura, la presión de contacto y la velocidad de deslizamiento. Cuando el material pierde estabilidad térmica, la eficiencia de frenado disminuye y la distancia de detención tiende a aumentar.

2. Resultados de la prueba en ruta urbana tipo taxi

La segunda prueba se realizó en una ruta urbana del sector de Santa Lucía, con presencia de pendientes, rectas, rompe velocidades, señales de pare y tráfico liviano. Esta etapa buscó representar condiciones de operación similares a las de un taxi urbano, donde el sistema de frenos trabaja de forma repetitiva y con acumulación progresiva de temperatura. Cada ciclo tuvo una duración aproximada de 10 minutos.

Tabla 5.

Prueba en ruta urbana con pastillas de carbono

Ciclo	Temp. inicial disco (°C)	Temp. final disco (°C)	N.º aprox. de frenadas	Observación del frenado
1	23,7	69,8	25	Normal
2	67,2	106,3	25	Más largo
3	105,5	120,2	27	Más largo / menor respuesta / chillido
4	119,1	132,3	19	Más largo / menor respuesta / chillido

Fuente. Auditoría propia

Tabla 6.*Prueba en ruta urbana con pastillas cerámicas*

Ciclo	Temp. inicial disco (°C)	Temp. final disco (°C)	N.º aprox. de frenadas	Observación del frenado
1	25,2	73,7	23	Normal
2	72,1	93,4	23	Normal
3	92,3	107,1	25	Normal
4	105,2	114,9	19	Normal / chillido

Fuente. Auditoría propia

En la prueba de ruta, ambos materiales presentaron aumento progresivo de temperatura debido a las frenadas repetitivas y a las pendientes del recorrido. No obstante, el comportamiento térmico y funcional fue diferente. En las pastillas de carbono, la temperatura del disco aumentó desde 23,7 °C al inicio del primer ciclo hasta 132,3 °C al final del cuarto ciclo, con un incremento total de 108,6 °C. En las pastillas cerámicas, la temperatura aumentó desde 25,2 °C hasta 114,9 °C, con un incremento total de 89,7 °C.

La temperatura máxima registrada con las pastillas cerámicas fue 17,4 °C menor que con las de carbono, lo que representa una reducción aproximada del 13,2 %. Además, la temperatura final promedio durante los ciclos de ruta fue de 107,15 °C para carbono y 97,28 °C para cerámica, equivalente a una reducción promedio aproximada del 9,2 %.

En cuanto al comportamiento del frenado, el compuesto de carbono presentó signos de pérdida progresiva de respuesta. El frenado fue percibido como más largo en 3 de los 4 ciclos, equivalente al 75 % de la prueba. La menor respuesta y el chillido aparecieron en 2 de los 4 ciclos, es decir, en el 50 % de los ciclos. En comparación, el compuesto cerámico mantuvo una respuesta normal durante los cuatro ciclos, aunque presentó chillido en el último, equivalente al 25 % de los ciclos.

Estos resultados indican que el compuesto cerámico tuvo un comportamiento más estable durante la operación en ruta. La presencia de frenado más largo y menor respuesta en las pastillas Gold L035 FF coincide con el aumento progresivo de la temperatura del disco, lo que puede interpretarse como una pérdida parcial de respuesta asociada a acumulación térmica. Sin embargo, no se puede afirmar que se haya presentado brake fade, debido a que las temperaturas registradas no alcanzaron los rangos críticos reportados para este fenómeno.

3. Resultados de la frenada controlada final posterior a la ruta

Al finalizar los ciclos de ruta, se realizó una frenada controlada final para evaluar el desempeño del sistema después de la acumulación térmica generada durante la operación urbana. Esta prueba permitió relacionar el comportamiento térmico de la ruta con una variable cuantitativa directa: la distancia de frenado posterior al uso repetitivo.

Tabla 7.

Frenada controlada final posterior a la ruta

Material	Temp. antes de prueba final (°C)	Distancia de frenado final (m)	Temp. final disco (°C)
Carbono	129,1	14,41	136,2
Cerámica	114,9	10,78	116,9

Fuente. Auditoría propia

En esta prueba, las pastillas de carbono registraron una distancia final de frenado de 14,41 m, con una temperatura final del disco de 136,2 °C. Por su parte, las pastillas cerámicas registraron una distancia de 10,78 m, con una temperatura final de 116,9 °C.

La diferencia de distancia entre ambos materiales fue de 3,63 m, lo que representa una reducción aproximada del 25,2 % a favor de las pastillas cerámicas. Asimismo, la temperatura final del disco fue 19,3 °C menor en el compuesto cerámico, equivalente a una reducción térmica aproximada del 14,2 % frente al compuesto de carbono.

Este resultado es importante porque confirma la tendencia observada en la prueba controlada inicial y en la ruta urbana. Después de haber sido sometido a ciclos repetitivos de frenado, el compuesto cerámico mantuvo una menor distancia de detención y una menor temperatura superficial del disco. En cambio, el carbono presentó mayor temperatura final y mayor distancia de frenado, lo que refuerza la evidencia de una menor estabilidad térmica bajo condiciones de operación intensiva.

4. Resultados del ciclo complementario de operación urbana tipo taxi

Con el propósito de fortalecer el análisis experimental, se incorporó una prueba complementaria de operación urbana tipo taxi. Esta prueba permitió evaluar el comportamiento térmico, el desgaste dimensional y el costo de adquisición de cada material bajo una condición de circulación prolongada. Cada material fue evaluado durante 6 horas y 180 km de recorrido dentro de Quito, considerando circulación por zonas del norte, centro y sur de la ciudad.

Tabla 8.

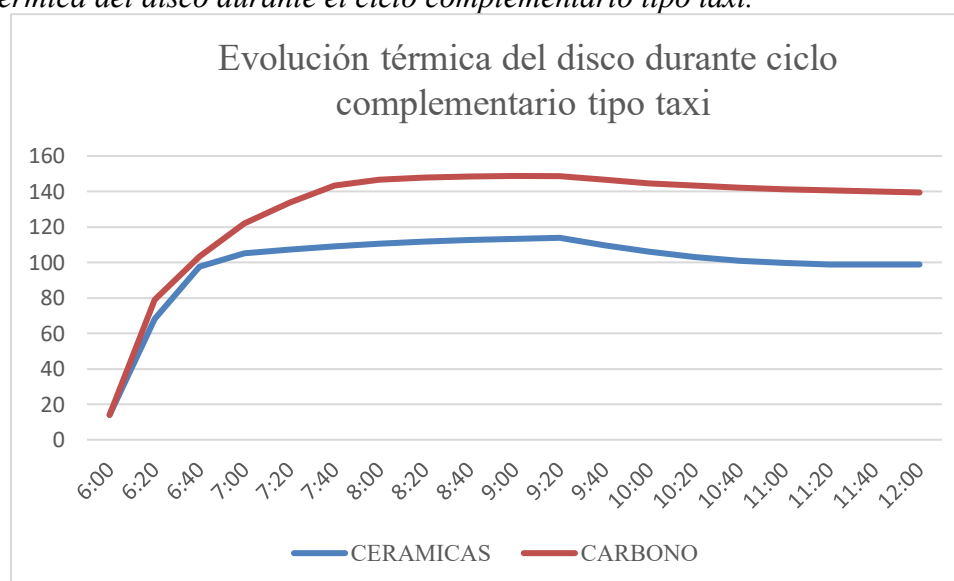
Resultados generales del ciclo complementario tipo taxi.

Indicador	Pastillas cerámicas Gold MTF602GF	Pastillas carbono Gold L035 FF
Fecha de prueba	1 de junio de 2026	8 de junio de 2026
Duración de la prueba	6 h	6 h
Distancia recorrida	180 km	180 km
Temperatura ambiente	17 °C	17 °C
Temperatura inicial	14,00 °C	14,00 °C
Temperatura máxima	113,88 °C	148,65 °C
Temperatura final	98,70 °C	139,58 °C
Temperatura promedio operativa	103,63 °C	136,67 °C
Espesor inicial	10,00 mm	10,00 mm
Desgaste medido	0,10 mm	0,05 mm
Costo del juego	USD 36,00	USD 15,50

Fuente. Auditoría propia

Figura 5.

Evolución térmica del disco durante el ciclo complementario tipo taxi.



Fuente. Auditoría propia

La Figura 5 muestra que las pastillas carbono mantuvieron temperaturas superiores durante la mayor parte del recorrido. La diferencia térmica fue más evidente a partir de las 7:20, cuando el carbono superaron los 130 °C, mientras que las cerámicas se mantuvieron cercanas a 107 °C. A partir de las 9:20, ambos materiales presentaron una disminución

progresiva de temperatura; sin embargo, el carbono finalizó la prueba con 139,58 °C, frente a 98,70 °C de las cerámicas.

Durante el ciclo complementario de operación urbana tipo taxi, las pastillas cerámicas alcanzaron una temperatura máxima de 113,88 °C, mientras que las pastillas de carbono alcanzaron 148,65 °C. Esto representa una diferencia de 34,77 °C y una reducción aproximada del 23,4 % en la temperatura máxima a favor del compuesto cerámico. Asimismo, la temperatura promedio operativa fue de 103,63 °C para cerámica y 136,67 °C para carbono, lo que equivale a una reducción aproximada del 24,2 %.

La temperatura final también fue menor con las pastillas cerámicas. Al concluir la jornada de 6 horas, el disco registró 98,70 °C con cerámica y 139,58 °C con carbono, equivalente a una reducción aproximada del 29,3 %. Este comportamiento evidencia que las pastillas cerámicas trabajaron a menor temperatura durante la prueba prolongada, lo cual resulta favorable en condiciones de operación urbana intensiva.

Sin embargo, al analizar el desgaste dimensional, las pastillas de carbono presentaron menor pérdida de espesor. Las pastillas cerámicas registraron un desgaste de 0,10 mm, equivalente al 1,0 % del espesor inicial, mientras que las de carbono registraron 0,05 mm, equivalente al 0,5 %. Esto indica que, en esta prueba complementaria, el compuesto de carbono presentó mejor comportamiento frente al desgaste medido en corto plazo.

Desde el punto de vista económico, las pastillas de carbono también presentaron menor costo inicial, con USD 15,50 frente a USD 36,00 de las pastillas cerámicas. Por tanto, la prueba complementaria permite ampliar el criterio de selección: las pastillas cerámicas mostraron mejor estabilidad térmica, mientras que las de carbono presentaron menor desgaste dimensional y menor costo de adquisición.

5. Discusión general

Los resultados obtenidos permiten analizar el comportamiento de las pastillas de freno desde un enfoque más amplio que una comparación directa de distancia de frenado. En este estudio se consideraron variables funcionales como distancia de detención, temperatura superficial del disco, estabilidad térmica, respuesta en ruta, desgaste dimensional y costo de adquisición. Esto permite establecer un criterio técnico de selección más cercano a las condiciones reales de operación de un taxi urbano.

En la prueba controlada inicial, las pastillas cerámicas Gold MTF602GF presentaron una distancia promedio de frenado de 10,04 m, mientras que las pastillas CARBONO Gold

L035 FF registraron 12,71 m. Esto representa una reducción aproximada del 21,0 % a favor del compuesto cerámico. Además, la temperatura final promedio fue menor en las cerámicas, con 92,63 °C frente a 104,48 °C en las de carbono, equivalente a una reducción térmica del 11,3 %. Desde el punto de vista estadístico, las cerámicas también presentaron menor dispersión en la distancia de frenado, con un coeficiente de variación de 6,8 %, frente al 12,3 % registrado en las de carbono. Esto indica una respuesta más uniforme durante las repeticiones controladas.

Durante la prueba en ruta urbana tipo taxi, ambos materiales incrementaron su temperatura debido a las frenadas repetitivas, pendientes y condiciones propias de circulación urbana. Sin embargo, las pastillas de carbono alcanzaron una temperatura máxima de 132,3 °C, mientras que las cerámicas llegaron a 114,9 °C, lo que representa una reducción del 13,2 % en la temperatura máxima del compuesto cerámico. Además, las de carbono presentaron frenado más largo en el 75 % de los ciclos y menor respuesta en el 50 %, mientras que las cerámicas mantuvieron una respuesta normal durante la mayor parte de la prueba. Este comportamiento sugiere que el compuesto cerámico presentó mayor estabilidad térmica y funcional durante los ciclos repetitivos de frenado.

En la frenada controlada final posterior a la ruta, las pastillas cerámicas nuevamente presentaron mejor desempeño en términos de distancia y temperatura. La distancia de frenado fue de 10,78 m para cerámica y 14,41 m para carbono, lo que equivale a una reducción aproximada del 25,2 %. De igual manera, la temperatura final del disco fue de 116,9 °C con cerámica y 136,2 °C con carbono, representando una reducción térmica del 14,2 %. Este resultado es importante porque evalúa el desempeño después de la acumulación térmica generada en ruta, condición más cercana al uso real del sistema de frenos.

La prueba complementaria de operación urbana tipo taxi permitió fortalecer el análisis experimental, ya que evaluó cada material durante 6 horas y 180 km de circulación dentro de Quito, con el mismo vehículo, conductor, pasajero y temperatura ambiente de 17 °C. En esta etapa, las pastillas cerámicas alcanzaron una temperatura máxima de 113,88 °C, mientras que las CARBONO alcanzaron 148,65 °C. Esto representa una reducción aproximada del 23,4 % en la temperatura máxima a favor de las cerámicas. Asimismo, la temperatura promedio operativa fue de 103,63 °C en cerámica y 136,67 °C en carbono, equivalente a una reducción del 24,2 %. Estos datos confirman que las pastillas cerámicas trabajaron a menor temperatura durante una jornada urbana prolongada.

Aunque en ninguna de las pruebas se confirmó la presencia de brake fade, los resultados permiten identificar una mayor susceptibilidad térmica en las pastillas Gold L035 FF. Este material alcanzó temperaturas superiores durante la ruta urbana y durante el ciclo complementario de 6 horas, además de presentar mayor distancia de frenado y observaciones de frenado más largo o menor respuesta en algunos ciclos. Por tanto, bajo condiciones de operación más severas, como mayor carga, pendientes prolongadas o frenadas continuas, este compuesto podría ser más propenso a experimentar pérdida de eficiencia por acumulación térmica. Sin embargo, esta afirmación debe interpretarse como una tendencia observada en campo y no como una comprobación directa de brake fade.

No obstante, al incorporar la variable de desgaste, el comportamiento no favorece completamente al compuesto cerámico. Las pastillas cerámicas registraron un desgaste de 0,10 mm, equivalente al 1,0 % del espesor inicial de 10 mm, mientras que las de carbono presentaron un desgaste de 0,05 mm, equivalente al 0,5 %. Esto indica que, en la prueba complementaria, las de carbono tuvieron menor desgaste dimensional. Además, desde el punto de vista económico, las pastillas de carbono tuvieron un costo de USD 15,50, mientras que las cerámicas costaron USD 36,00. Por tanto, las de carbono presentan ventaja en costo inicial y desgaste medido en corto plazo.

Estos resultados muestran que la selección técnica de pastillas de freno no debe basarse en un solo criterio. Si se prioriza la estabilidad térmica, menor temperatura de operación y menor distancia de frenado, el compuesto cerámico presenta mejores resultados en el vehículo evaluado. En cambio, si se prioriza el costo inicial y el menor desgaste dimensional durante una jornada urbana, las pastillas de carbono presentan ventajas. Por ello, el criterio técnico de selección debe considerar de forma conjunta el desempeño de frenado, comportamiento térmico, desgaste, costo y condiciones reales de operación.

La dureza del material también debe considerarse como una variable relevante, ya que puede influir en el desgaste, ruido y estabilidad del contacto entre pastilla y disco. Sin embargo, en el presente estudio no fue medida directamente mediante durómetro, por lo que no se puede atribuir el comportamiento observado únicamente a esta propiedad. Los resultados se interpretan desde el desempeño funcional del sistema en campo y no como una caracterización completa del material de fricción.

Finalmente, debe considerarse que el estudio corresponde a una evaluación aplicada de campo y no a un ensayo de homologación. Aunque la metodología fue adaptada tomando como referencia criterios generales de evaluación de frenado, existieron limitaciones

instrumentales, como el uso de velocímetro del vehículo, termómetro infrarrojo, calibrador Vernier y medición manual de distancia. A pesar de ello, al mantener constantes el vehículo, conductor, carga, ruta y procedimiento de medición, los resultados permiten comparar de manera válida el comportamiento relativo de ambos materiales en el caso estudiado.

Conclusiones

A partir del análisis teórico y experimental realizado, se concluye que el material de fricción influye directamente en el comportamiento del sistema de frenado de un vehículo liviano sometido a operación urbana intensiva. En el caso estudiado, las pastillas cerámicas Gold MTF602GF y las pastillas CARBONO Gold L035 FF presentaron diferencias en distancia de frenado, temperatura superficial del disco, desgaste dimensional y costo de adquisición, por lo que la selección del material no debe basarse únicamente en el precio o disponibilidad comercial.

En la prueba controlada inicial, las pastillas cerámicas registraron una distancia promedio de frenado de 10,04 m, mientras que las pastillas de carbono obtuvieron 12,71 m. Esto representa una reducción aproximada del 21,0 % a favor del compuesto cerámico. Además, el coeficiente de variación de la distancia fue menor en las cerámicas, con 6,8 %, frente al 12,3 % registrado en las de carbono, lo que indica una respuesta más uniforme durante las repeticiones realizadas.

Durante la prueba en ruta urbana tipo taxi, las pastillas cerámicas presentaron menor acumulación térmica que las pastillas de carbono. La temperatura máxima registrada fue de 114,9 °C para cerámica y 132,3 °C para carbono, equivalente a una reducción aproximada del 13,2 % en la temperatura máxima del compuesto cerámico. Además, las pastillas carbono presentaron sensación de frenado más largo en el 75 % de los ciclos y menor respuesta en el 50 %, mientras que las cerámicas mantuvieron una respuesta normal durante la mayor parte de la prueba.

En la frenada controlada final posterior a la ruta, las pastillas cerámicas nuevamente mostraron mejor desempeño en distancia de frenado y temperatura final del disco. La distancia final fue de 10,78 m con cerámica y 14,41 m con carbono, lo que representa una reducción aproximada del 25,2 %. De igual manera, la temperatura final del disco fue de 116,9 °C para cerámica y 136,2 °C para CARBONO, con una reducción térmica aproximada del 14,2 %.

La prueba complementaria de operación urbana tipo taxi permitió fortalecer el análisis experimental, ya que cada material fue evaluado durante 6 horas y 180 km de circulación dentro de Quito. En esta etapa, las pastillas cerámicas alcanzaron una temperatura máxima de 113,88 °C, mientras que las pastillas CARBONO llegaron a 148,65 °C. Esto representa una reducción aproximada del 23,4 % en la temperatura máxima a favor del compuesto cerámico. Asimismo, la temperatura promedio operativa fue menor en las cerámicas, con 103,63 °C frente a 136,67 °C en las CARBONO.

Sin embargo, al analizar el desgaste dimensional y el costo de adquisición, las pastillas de carbono presentaron ventajas frente a las cerámicas. El desgaste medido en las de carbono fue de 0,05 mm, equivalente al 0,5 % del espesor inicial, mientras que las cerámicas registraron 0,10 mm, equivalente al 1,0 %. Además, el costo de adquisición de las de carbono fue de USD 15,50, frente a USD 36,00 de las cerámicas. Esto evidencia que las pastillas de carbono presentaron menor desgaste dimensional y menor costo inicial en la prueba complementaria.

Con base en los resultados obtenidos, se establece que, para el vehículo evaluado y bajo las condiciones de prueba aplicadas, las pastillas cerámicas presentaron mejor desempeño térmico y menor distancia de frenado, mientras que las pastillas de carbono presentaron menor desgaste dimensional y menor costo inicial. Por tanto, la selección técnica de pastillas de freno para operación urbana intensiva debe considerar de manera conjunta la estabilidad térmica, distancia de frenado, desgaste, costo y condiciones reales de operación.

No se confirmó la presencia de brake fade en las pruebas realizadas; sin embargo, las pastillas Gold L035 FF evidenciaron mayor acumulación térmica y mayor variación en la respuesta de frenado, por lo que podrían presentar mayor susceptibilidad a pérdida de eficiencia bajo condiciones más severas de operación.

Los resultados deben interpretarse como un criterio técnico aplicado al caso estudiado, debido a que se evaluó un solo vehículo, dos compuestos comerciales de una misma marca y con instrumentación de campo. Aunque la metodología permitió comparar de manera controlada el comportamiento relativo de ambos materiales, no corresponde a un ensayo de homologación. Para futuras investigaciones se recomienda ampliar el número de vehículos, incluir otros compuestos de fricción, medir la dureza del material mediante durómetro, registrar presión hidráulica o fuerza de pedal, y emplear sensores de temperatura instalados directamente en el sistema de freno.

Referencias

Vilatuña Bustos, F. X. (2023). *Adaptación de un Sistema de Frenos de Tipo Disco Sobre una Plataforma Tubular de Transportación Biplaza* [Proyecto Previo a la Obtención del Título de Ingeniero Automotriz, Universidad Internacional del Ecuador].

<https://repositorio.uide.edu.ec/bitstream/37000/6384/1/UIDE-G-TMA-2023-44.pdf>

Ramos Barrio, S. (2020). *Optimización del diseño de una pinza de freno mediante el análisis estático y el uso de nuevos materiales* [TRABAJO FIN DE MÁSTER, Escuela de Ingenierías Industriales]. <https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/43401/TFM-I-1657.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Santiago, R., Jaramillo, C., Sebastián, J., Albán, Í., Sebastián Íñiguez, J., Yo, A., Gorky, G., & Campaña, R. (s/f). *DESARROLLO DE UN PROGRAMA DE CÁLCULO DEL SISTEMA DE FRENOS EN FUNCIÓN DE MODELACIÓN MATEMÁTICA*. Edu.ec. Recuperado el 18 de mayo de 2026, de <https://repositorio.uide.edu.ec/bitstream/37000/5051/1/T-UIDE-0372.pdf>

Albornoz Salazar, J. L. (2021). *Fuerzas desarrolladas en el frenado de vehículos*. En <https://creandoconciencia.org.ar/>. Recuperado 18 de mayo de 2026, de <https://creandoconciencia.org.ar/enciclopedia/accidentologia/la-fisica-de-la-colision/FUERZAS-DE-FRENADO.pdf>

Augusto, A. L. C. (2022). *Análisis del mecanismo de desgaste en pastillas de freno de material compuesto en vehículos utilitarios*. Edu.ec:8080. <https://dspace.esPOCH.edu.ec:8080/server/api/core/bitstreams/b2aee57d-ac5e-4bfb-bb06-a37712c86f50/content>

Zhang, Q., Liu, H., He, Z., Mo, J., Jin, W., Shen, M., & Zhao, C. (2025). Impact of initial braking temperature on thermal-induced brake fade during long-downhill operations. *Engineering Failure Analysis*, 167(109077), 109077. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2024.109077>

Bellini, C., Di Cocco, V., Iacoviello, D., & Iacoviello, F. (2023). Temperature influence on brake pad friction coefficient modelisation. *Materials*, 17(1), 189. <https://doi.org/10.3390/ma17010189>

Chen, J., Yu, C., Cheng, Q., Guan, Y., Zhang, Q., Li, W., Ouyang, F., & Wang, Z. (2023). Research on friction performance and wear rate prediction of high-speed train brake pads. *Wear: An International Journal on the Science and Technology of Friction Lubrication and Wear*, 514–515(204564), 204564. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2022.204564>

- Chen, Y., Xie, Q., He, C., Lin, Q., Li, P., & Liu, J. (2025). Research on the friction performance and structural optimization of brake pads considering train brake disc temperature. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 163(108707), 108707. <https://doi.org/10.1016/j.icheatmasstransfer.2025.108707>
- Essam, M. A., Abdeltawab, N. M., Fathy, A., & Elmahdy, M. (2026). Brake pads automotive industries, formulations, characteristics and testing: A review. *Next Research*, 3(101153), 101153. <https://doi.org/10.1016/j.nexres.2025.101153>
- Ilie, F., & Cristescu, A.-C. (2022). Tribological behavior of friction materials of a disk-brake pad braking system affected by structural changes-A review. *Materials*, 15(14), 4745. <https://doi.org/10.3390/ma15144745>
- Ma, L., Ding, S., Zhang, C., Huang, Y., & Zhang, X. (2023). Study on the wear performance of high-speed railway brake materials at low temperatures under continuous braking conditions. *Wear: An International Journal on the Science and Technology of Friction Lubrication and Wear*, 512–513(204556), 204556. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2022.204556>
- Soni, S., Menghani, J., Dhotare, S., & Bramhwnashi, P. (2026). Resin variants in brake friction materials: A tribological review and comparative assessment. En S. Soni, S. Pandya, & J. Menghani (Eds.), *Lubrication Science - Challenges and Emerging Technologies* [Working Title]. IntechOpen.
- Zhang, Q., Liu, H., He, Z., Mo, J., Jin, W., Shen, M., & Zhao, C. (2025). Impact of initial braking temperature on thermal-induced brake fade during long-downhill operations. *Engineering Failure Analysis*, 167(109077), 109077. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2024.109077>
- Zhao, C., Yao, M., Han, X., Su, L., Qi, W., Gao, F., & Zhang, J. (2026). Investigation of temperature distribution and coefficient of friction on friction pairs of C/C-SiC disc and copper-based brake pad for high speed train. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J: Journal of Engineering Tribology*, 240(2), 245–259. <https://doi.org/10.1177/13506501251346287>
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2012). *NTE INEN 2185: Vehículos automotores. Sistemas de frenos. Requisitos y métodos de ensayo*. INEN.
- United Nations Economic Commission for Europe. (2014). *Regulation No. 13-H: Uniform*

Anexos

ANEXO 1. Encuesta aplicada a conductores de taxi

La encuesta aplicada a 164 conductores de taxi permitió identificar condiciones operativas relacionadas con el uso del sistema de frenos en vehículos livianos urbanos. En relación con el tipo de frenos, el 84,1 % de los encuestados indicó que su vehículo cuenta con discos delanteros y frenos de tambor en las ruedas posteriores, mientras que el 15,9 % señaló disponer de discos de freno en las cuatro ruedas. Este resultado coincide con la configuración del vehículo utilizado en el estudio, el cual posee discos delanteros y tambores posteriores.

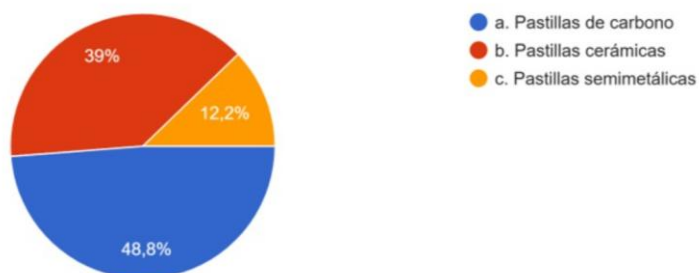
Respecto al material de pastillas utilizado, el 48,8 % manifestó emplear pastillas de carbono, el 39,0 % pastillas cerámicas y el 12,2 % pastillas semimetálicas. Estos resultados respaldan la selección de los compuestos analizados en la investigación, debido a que corresponden a materiales usados habitualmente en el mantenimiento de vehículos de operación urbana.

En cuanto a la frecuencia de cambio, los conductores que utilizan pastillas de carbono señalaron mayoritariamente un reemplazo cada 9 a 10 meses, con el 65,0 % de las respuestas. En el caso de las pastillas cerámicas, el 74,6 % indicó una frecuencia de cambio aproximada de 4 a 5 meses. Estos datos se consideran como información complementaria de percepción y mantenimiento, ya que la durabilidad real depende del material, estilo de conducción, carga, ruta, pendientes y condiciones del sistema de frenos.

Sobre la operación diaria, el 72,0 % de los encuestados indicó que cada carrera dura en promedio entre 5 y 10 minutos, mientras que el 25,6 % señaló una duración entre 11 y 16 minutos. Además, el 69,5 % manifestó recorrer entre 170 y 180 km diarios, el 17,7 % entre 190 y 220 km, y el 12,8 % más de 230 km diarios. Estos resultados respaldan la pertinencia de evaluar las pastillas bajo condiciones de uso urbano intensivo, caracterizadas por recorridos frecuentes, ciclos repetitivos de frenado y kilometrajes diarios elevados.

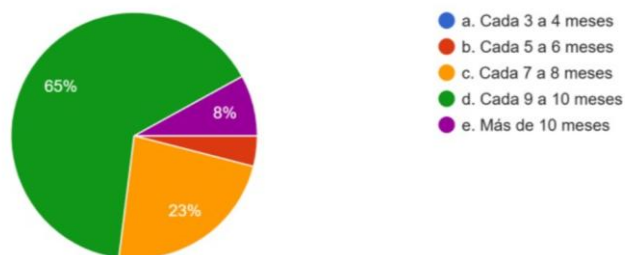
¿Qué material de pastillas de freno utiliza actualmente en su vehículo?

164 respuestas



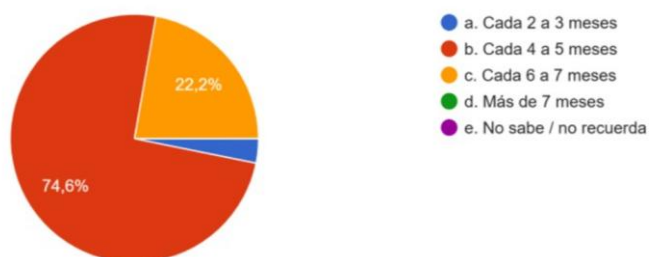
Responder solo si en la pregunta 2 eligió "pastillas de carbono". ¿Cada cuánto tiempo cambia aproximadamente las pastillas de freno de carbono de su vehículo?

100 respuestas



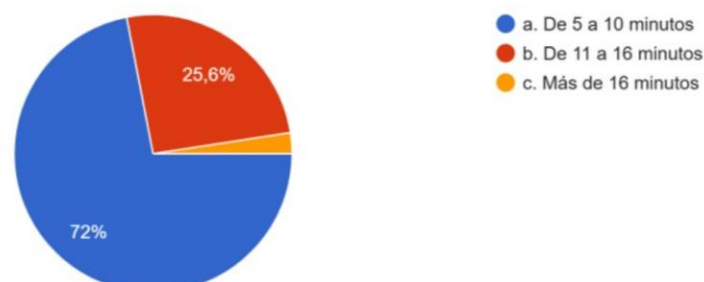
Responder solo si en la pregunta 2 eligió "pastillas cerámicas". ¿Cada cuánto tiempo cambia aproximadamente las pastillas de freno cerámicas de su vehículo?

63 respuestas



En promedio, ¿cuánto tiempo dura cada carrera o viaje que usted realiza como taxista?

164 respuestas



Aproximadamente, ¿cuántos kilómetros recorre por día en su jornada normal de trabajo?

164 respuestas

