

| | |
|---|--|
|  <small>Powered by Arizona State University</small> | Universidad Internacional del Ecuador |
| | DOCUMENTO N°: UIDE- MAT-EIA |
| | INGENIERIA AUTOMOTRIZ |
| | TITULACIÓN |



ING. AUTOMOTRIZ

Trabajo integración Curricular previa a la obtención del título de Ingeniero en Automotriz.

AUTORES:

Jhon Díaz
Iván Cueva

TUTOR:

Msc. Luis Ibujés

Rediseño de una pastilla de freno basado en un análisis computacional de las propiedades térmicas y físicas en vehículos M1.

| | |
|---|--|
|  | Universidad Internacional del Ecuador |
| | DOCUMENTO N°: UIDE- MAT-EIA |
| | INGENIERIA AUTOMOTRIZ |
| | TITULACIÓN |

| | |
|---|--|
|  | Universidad Internacional del Ecuador |
| | DOCUMENTO N°: UIDE- MAT-EIA |
| | INGENIERIA AUTOMOTRIZ |
| | TITULACIÓN |

CERTIFICACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros, **Jhon Díaz Buitrón e Iván Cueva Pachacama**, 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.



JHON DÍAZ



IVÁN CUEVA

| | |
|---|--|
|  | Universidad Internacional del Ecuador |
| | DOCUMENTO N°: UIDE- MAT-EIA |
| | INGENIERIA AUTOMOTRIZ |
| | TITULACIÓN |

APROBACIÓN DEL TUTOR

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



Firma profesor

| | |
|---|--|
|  | Universidad Internacional del Ecuador |
| | DOCUMENTO N°: UIDE- MAT-EIA |
| | INGENIERIA AUTOMOTRIZ |
| | TITULACIÓN |

Dedicatoria

A mis queridos familiares, amigos, docentes y a mi novia Samanta,

Hoy finalmente cumpla uno de mis mayores sueños al terminar este artículo. La investigación incesante y el trabajo sin descanso finalmente han dado sus frutos.

Quiero agradecer a cada uno de ustedes por su incondicional apoyo y aliento en este viaje, que a menudo parecía imposible. A mi familia, que siempre ha sido mi roca, a mis amigos, que siempre han estado ahí para distraerme y motivarme, a mis docentes, que me brindaron su sabiduría y experiencia, y a mi novia, que ha sido mi fuente de amor y de energía inagotable.

Este artículo no solo representa mi arduo trabajo, sino también la guía y el amor que cada uno de ustedes depositó en mí. Espero que se sientan orgullosos de este logro tanto como yo lo estoy.

Gracias por ser mi inspiración constante, ahora y siempre.

Jhon Díaz

Quiero dedicar este presente a mi madre, padre y a mi novia,

Cumplir con uno de mis mayores objetivos se traduce en horas de trabajo, investigación que poco a poco ha dado sus frutos.

Gracias por enseñarme que con trabajo y dedicación se pueden lograr cosas increíbles. Recorrer este viaje de mi vida ha sido una tarea difícil, un sueño que tenía desde pequeña que hoy se hace realidad.

Este trabajo es el resultado de una amistad que se ha fortalecido a lo largo de los años, con altibajos. Gracias a todos por acompañarme en este camino y darme el coraje y la valentía para lograrlo.

Iván Cueva

| | |
|---|--|
|  | Universidad Internacional del Ecuador |
| | DOCUMENTO N°: UIDE- MAT-EIA |
| | INGENIERIA AUTOMOTRIZ |
| | TITULACIÓN |

Agradecimiento

Estimados amigos, familiares y educadores,

No puedo expresar suficientemente mi gratitud hacia cada uno de ustedes por el amor y el apoyo que me han brindado durante mi carrera académica y la composición de este artículo. Han sido una verdadera inspiración para mí, su guía, estímulo y entusiasmo me han llevado al éxito que celebro hoy.

A mis amigos y familiares, gracias por siempre estar presentes, y animarme por el aprendizaje. A mis educadores, gracias por compartir su conocimiento conmigo y responder siempre a mis preguntas y desafiar mis ideas.

Cada uno de ustedes ha dejado una huella imborrable en mi vida y les agradezco de todo corazón por todo lo que han hecho.

Sin lugar a duda, sé que este sacrificio hará una diferencia en mi vida y en mi futuro. Gracias por su ayuda y su fe en mí.

Jhon Díaz

Quiero agradecer a mi madre por la confianza que ha depositado en mí, su amor y el apoyo que siempre me ha brindado cuando más lo necesitaba, a mi padre por el legado que me antecedió, quienes han sido pilares fundamentales durante todo el tiempo de preparación y comparación de este artículo.

A mi novia quien me apoyó y animó a seguir, cuando más perdido me sentía ella fue mi lugar seguro y quien me alentó a seguir en este camino, con sus palabras y acciones, desde que la conocí me ha apoyado en toda mi carrera universitaria y más en el presente.

Gracias a todos por su apoyo incondicional y especialmente por sus acciones, y la confianza que han depositado en mí y que gracias a todo su apoyo me llevaron a concluir este artículo.

Iván Cueva

| | |
|---|--|
|  | Universidad Internacional del Ecuador |
| | DOCUMENTO N°: UIDE- MAT-EIA |
| | INGENIERIA AUTOMOTRIZ |
| | TITULACIÓN |

Índice

| | |
|---|----|
| CERTIFICACIÓN DE AUTORÍA..... | 3 |
| APROBACIÓN DEL TUTOR | 4 |
| Resumen..... | 8 |
| Introducción | 9 |
| Marco Teórico..... | 10 |
| Disco de freno | 10 |
| Pastillas de freno | 11 |
| Material de pastilla orgánica NAO..... | 11 |
| Fricción..... | 11 |
| Temperatura de funcionamiento en pastillas de freno | 12 |
| Repartición de pesos en fuerza de frenada | 12 |
| Fuerza de frenado | 13 |
| Datos de simulación | 15 |
| Armox 500 T | 15 |
| Materiales y Métodos..... | 16 |
| Resultados y discusión | 21 |
| Conclusiones | 23 |
| Referencias Bibliográficas | 24 |

| | |
|---|--|
|  | Universidad Internacional del Ecuador |
| | DOCUMENTO N°: UIDE- MAT-EIA |
| | INGENIERIA AUTOMOTRIZ |
| | TITULACIÓN |

Rediseño de una pastilla de freno basado en un análisis computacional de las propiedades térmicas y físicas en vehículos M1

Msc. Luis Ibujés V¹, Jhon Díaz B², Iván Cueva P³

^{1,2} Universidad Internacional del Ecuador

e-mail¹: luibujesvi@uide.edu.ec 1

e-mail²: jhdiazbu@uide.edu.ec 2

e-mail³: brcuevapa@uide.edu.ec 3

Resumen

El presente artículo se enfoca en el rediseño de una pastilla de freno para vehículos automotores, tiene como objetivo analizar las propiedades térmicas y físicas de la pastilla de freno con material orgánico. La pastilla de freno tiene como función detener el vehículo al hacer contacto con el disco de freno. La pastilla se calienta debido a la fricción y debe disipar el calor para evitar perder la capacidad de frenado. Para analizar estas propiedades se utilizaron softwares. Primero se creó un modelo 3D de la pastilla de freno, luego, se simuló el frenado del vehículo con las características de peso y tamaño de un vehículo M1 y se analizaron las propiedades térmicas y físicas de la pastilla, los resultados del análisis mostraron que la pastilla de freno original tiene una temperatura elevada en comparación con los otros modelos, y se propuso un rediseño de la pastilla de freno utilizando un material diferente. El nuevo material tiene una mejor resistencia al calor, y por lo tanto al realizar las simulaciones, se pudo determinar una mejora, logrando generar una alternativa más eficiente para implementar en los vehículos M1.

Palabras Clave: pastilla de freno, propiedades, simulaciones, temperatura, resistencia.

Abstract

This article focuses on the redesign of a brake pad for automotive vehicles, its objective is to analyze the thermal and physical properties of the brake pad with organic material. The brake pad's function is to stop the vehicle when it contacts the brake disc. The pad gets hot due to friction and must dissipate the heat to avoid losing braking ability. Software was used to analyze these properties. Firstly, a 3D model of the brake pad was created, then the braking of the vehicle with the weight and size characteristics of an M1 vehicle was simulated, and the thermal and physical properties of the pad were analyzed, the analysis results showed that the stock brake pad has a high temperature compared to the other models, and a redesign of the brake pad using a different material is required. The new material has a better resistance to heat, and therefore when performing the simulations, an improvement could be determined, managing to generate a more efficient alternative to implement in M1 vehicles.

Keywords: brake pad, properties, simulations, thermal, resistance.

| | |
|---|--|
|  | Universidad Internacional del Ecuador |
| | DOCUMENTO N°: UIDE- MAT-EIA |
| | INGENIERIA AUTOMOTRIZ |
| | TITULACIÓN |

Introducción

En la actualidad los vehículos alcanzan altas velocidades, por lo que requieren de sistemas de frenado eficaces, el estudio de las pastillas de freno se enfoca en las propiedades de los materiales para conseguir una pieza optimizada. El análisis computacional ha mejorado siendo una herramienta de estudio de simulación en condiciones a las que se puede exponer la pastilla, simulan hechos que causan reacciones por el contacto de la pastilla de freno con el disco, analizando temperatura y pérdida de masa, con el fin de realizar un rediseño optimizado, utilizando un material alternativo para mejorar los resultados. (M. Tauviqirrahman, 2023)

El análisis de las propiedades de las pastillas está enfocado en el rediseño de una pastilla para obtener mejores resultados de frenado. Las pastillas alcanzan altas temperaturas debido a la fricción entre la pastilla y el disco. El rozamiento producido afecta a la integridad del material de las pastillas de freno, disminuyendo su eficacia con el desgaste y el paso del tiempo.

Por ejemplo (M.H. Pranta, 2022) plantea un análisis computacional con el rotor, el cual viene integrado para que el sistema cumpla su función, la fricción generada y la capacidad de disipar el foco de calor explora un estudio computacional para determinar los comportamientos estructurales y térmicos de las pastillas de freno modificados a través de herramientas CAE.

El principal motivo por el que se realiza este rediseño es por el recalentamiento en las pastillas de freno por malos hábitos de manejo. Se debe considerar que existen varios tipos de materiales y modelos de pastillas, pero el enfoque se da en los vehículos livianos, ya que estos utilizan pastillas más económicas y por lo tanto menos eficientes, pero mediante el análisis con softwares de elementos finitos se realizará un rediseño para mejorar su eficiencia de frenado y evitar el recalentamiento excesivo. (S. Sathishkumar, 2022).

El rediseño de la pastilla de freno fabricada con acero balístico obtendrá mejores características de eficiencia, ya que presenta valores más altos en sus propiedades térmicas y mecánicas que contribuirán en la disipación de calor.

| | |
|---|--|
|  | Universidad Internacional del Ecuador |
| | DOCUMENTO N°: UIDE- MAT-EIA |
| | INGENIERIA AUTOMOTRIZ |
| | TITULACIÓN |

El rediseño se realiza con el objetivo de disminuir el calentamiento de frenos e identificar la pérdida de masa, por lo que se va a buscar una alternativa en la que se puedan reducir estos problemas utilizando otro material y mejorando el diseño de las pastillas comerciales en los vehículos M1. (Tiefang Zou, 2011)

Se genera la expectativa de crear una pastilla de freno con un material alternativo fundamentado en el análisis de las propiedades de los materiales para conseguir mejorar el rendimiento actual de los sistemas de frenos en los vehículos M1.

Marco Teórico

Disco de freno

Es un componente que se utiliza para disminuir la velocidad de un vehículo al entrar en contacto con las pastillas de freno. (Ferrer, 2021).

La pastilla y el disco producen una fricción al presionar el pedal de freno. Existen discos de diferentes materiales, en este caso el material es “Fundición Gris de Grafito Laminar”, compuesto por el 93% de hierro en su estructura junto con el 3.5% de silicio y 3.5% de manganeso, este material tiene la capacidad de soportar hasta los 800°C sin sufrir un desgaste excesivo. (Jiménez, 2011)

Figura 1

Disco de freno



Fuente: (Imporbrake, 2019)

| | |
|---|--|
|  | Universidad Internacional del Ecuador |
| | DOCUMENTO N°: UIDE- MAT-EIA |
| | INGENIERIA AUTOMOTRIZ |
| | TITULACIÓN |

Pastillas de freno

La pastilla de freno debe ser capaz de disipar el calor que se genera en el tiempo de frenado, (García Echavez, 2018) por lo tanto, para seleccionar una pastilla se deber considerar el modelo, diseño, su composición y usos.

En el análisis computacional de las pastillas, se toma en cuenta su composición específica optando por emplear un material orgánico, este tiene una composición de Carbono, Silicio, y Magnesio que ayudan a reducir el desgaste. (Cesar Muñoz, 2020)

Figura 2

Pastillas de freno



Fuente: (Disauto, 2023)

Material de pastilla orgánica NAO

Este material contiene una mezcla de elementos orgánicos que están unidos con fibras y resinas que ayudan a mejorar su desempeño, tienen menos metales y soportan frenadas continuas, (R. Vijay, 2013), se seleccionaron porque el 70% de vehículos nuevos vienen con estas pastillas de fábrica. (Shi Shenshen, 2016)

Fricción

Es una fuerza generada por las irregularidades entre dos componentes que están en contacto, este principio se aplica cuando se presiona el pedal de freno y entra en contacto la pastilla con el disco para reducir la velocidad del vehículo. (Alejandro Isaías, 2013)

| | |
|---|--|
|  | Universidad Internacional del Ecuador |
| | DOCUMENTO N°: UIDE- MAT-EIA |
| | INGENIERIA AUTOMOTRIZ |
| | TITULACIÓN |

Temperatura de funcionamiento en pastillas de freno

El principal defecto de los frenos es la alta temperatura, el calentamiento excesivo causa una ineficiencia a la hora de frenar, (Sumit Kalipada, 2022) comprometiendo así la integridad de las pastillas de freno provocando una deformación por temperatura. (Aditya Choudhary, 2023).

Los vehículos livianos trabajan generalmente con temperaturas de entre 200° y 300°C (Coshair, 2022), en este caso el tipo de frenada que se simula es de 90km/h a 0km/h, por lo tanto, las condiciones de frenado generan una temperatura mayor a la habitual y por medio del rediseño y la alternativa de material se van a reducir los resultados.

Repartición de pesos en fuerza de frenada

Se usó 1400kg de peso total para repartir el esfuerzo de frenado entre ambos ejes, se tomó el 75% del peso inicial para el eje delantero y el 25% para el eje trasero como muestra la Figura 3 (Jose Albornoz, 2011). El peso que soporta el eje delantero es:

$$1400kg * 0,75 = 1050kg$$

El valor obtenido se reparte en los dos sistemas de discos correspondientes al eje delantero y a cada llanta en relación con el peso de 75% obteniendo así:

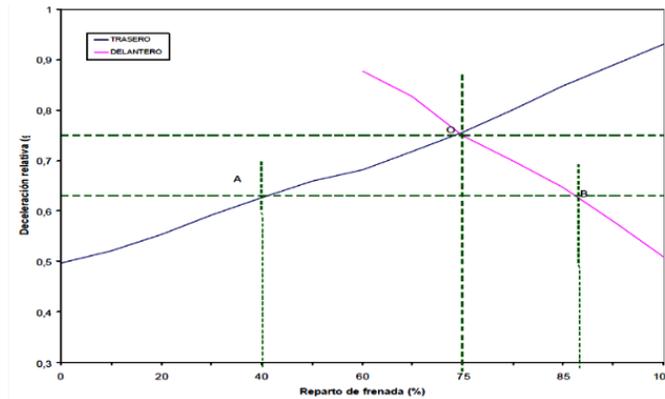
$$1050kg \div 2 = 525 kg$$

El resultado es el peso que frenará cada llanta del eje delantero por parte del sistema de frenos, tomando en cuenta que cada disco delantero tendrá la aplicación de 2163,105N independientes para frenar el peso equivalente al 75% del vehículo.

Figura 3

Reparto de Frenada

| | |
|--|--|
|  <p>Powered by Arizona State University</p> | Universidad Internacional del Ecuador |
| | DOCUMENTO N°: UIDE- MAT-EIA |
| | INGENIERIA AUTOMOTRIZ |
| | TITULACIÓN |



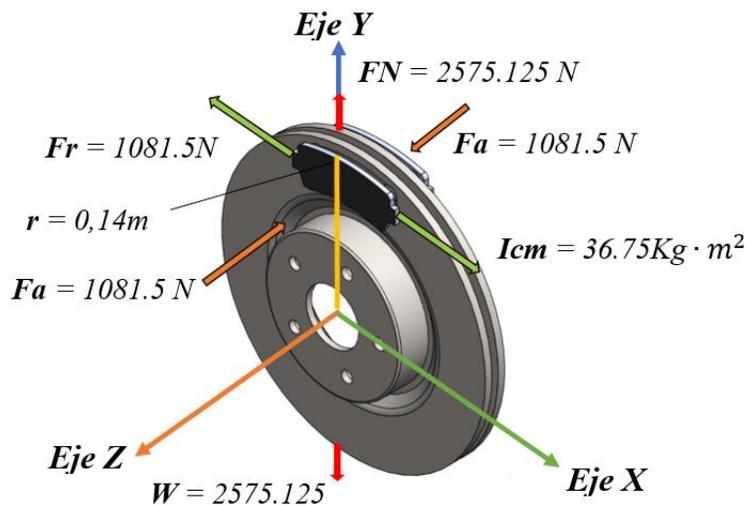
Fuente: (José Albornoz, 2011)

Fuerza de frenado

Se grafica el diagrama con las fuerzas presentes en los ejes (x), (y) y (z) de la Figura 4 perteneciente a un disco de freno, donde:

Figura 4

Diagrama de frenado



Fuente: Autores

| | |
|---|--|
|  | Universidad Internacional del Ecuador |
| | DOCUMENTO N°: UIDE- MAT-EIA |
| | INGENIERIA AUTOMOTRIZ |
| | TITULACIÓN |

$$\Sigma F_x$$

$$\Sigma F_y$$

$$\Sigma F_z$$

$$\Sigma F_x = m \cdot a$$

$$\Sigma F_y = 0$$

$$\Sigma F_z = 0$$

$$F = m * a$$

$$F_N - W = 0$$

$$F_a = \mu * W$$

$$1081.55 = 262.5 \text{ kg} * a$$

$$F_N = W$$

$$F_a = 0,42 * 2575,12 \text{ N}$$

$$a = 4.12 \text{ m/s}^2$$

$$W = m * g$$

$$F_a = 1081.55 \text{ N}$$

$$F_r = \mu * N$$

$$W = 262.5 \text{ kg} * \frac{9.81 \text{ m}}{\text{s}^2}$$

$$F_r = 0.42 * 2575.12 \text{ N}$$

$$W = 2575.12 \text{ N}$$

$$F_r = 1081.55 \text{ N}$$

$$I_{cm} = m * r^2$$

$$I_{cm} = 262.5 \text{ kg} * 0.14 \text{ m}^2$$

$$I_{cm} = 36.75 \text{ Kg} * \text{m}^2$$

| | |
|-------------------------|--|
| F_f | Fuerza de frenado = 2163N |
| F_r | Fuerza de Fricción = 1081.5N |
| F_a | Fuerza de accionamiento = 1081.55N |
| I_{cm} | Momento de Inercia = 36.75 Kg * m² |
| m | Masa = 262,5Kg |
| a | Aceleración = 4,12m/s² |
| g | Gravedad = 9,81m/s² |
| μ | Coefficiente de Fricción= 0.42 |
| r | Radio = 0.14m |

Para el estudio se utilizará una fuerza de frenado de 1081,5 N en cada pastilla con una masa independiente de 262,5 Kg.

| | |
|---|--|
|  | Universidad Internacional del Ecuador |
| | DOCUMENTO N°: UIDE- MAT-EIA |
| | INGENIERIA AUTOMOTRIZ |
| | TITULACIÓN |

Datos de simulación

La velocidad inicial para el análisis es de 90 km/h, valor máximo en vías perimetrales, (OECD, 2006), con una llanta de radio 200mm, se observa en la Figura 5, equivalente a rin 16 utilizado en vehículos livianos (Wheel Size, 2023), la velocidad angular se determina mediante:

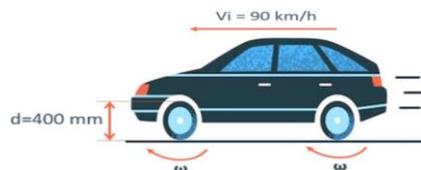
| | |
|----------|---|
| V | Velocidad = 90,47 Km/h = 25,1305 m/s |
| r | Radio = 200mm = 0,2m |
| ω | Velocidad angular = 125,65 rad/s = 1200rpm |

$$\omega = \frac{v}{r} \quad \omega = \frac{25,1305m/s}{0,2m} = 125,65 \text{ rad/s} = 1200rpm$$

La velocidad angular será de 1200 rpm, utilizada para simular la velocidad del disco.

Figura 5

Velocidad inicial y diámetro de rueda



Fuente: Autores

Armox 500 T

Es un tipo de acero balístico utilizado para detener el impacto de proyectiles. (Theodor Krauthammer, 2008), con una dureza de 500 en la escala de Brinell. (Armox, 2023) El acero balístico se va a utilizar como un material alternativo analizando sus propiedades para determinar su capacidad frente a la temperatura y fricción, logrando obtener una mejor eficiencia de frenado, (M.Z Omar, 2016), las propiedades del acero balístico utilizado se obtuvieron de (Nagendra Kumar, 2020), y una empresa mexicana de blindaje automotriz. (Armox, 2023)

| | |
|---|--|
|  | Universidad Internacional del Ecuador |
| | DOCUMENTO N°: UIDE- MAT-EIA |
| | INGENIERIA AUTOMOTRIZ |
| | TITULACIÓN |

Materiales y Métodos

Se escogieron los método analítico – experimental, e inductivo, son los más idóneos para comparar y analizar las variaciones de resultados, en el caso de: Rediseño de una pastilla de freno basado en un análisis computacional de las propiedades térmicas y físicas en vehículos M1.

Los materiales utilizados en la pastilla de freno se pueden observar en la Tabla 1.

Tabla 1

Propiedades del material Orgánico NAO y Acero ArmoX 500T

| PROPIEDAD | ORGÁNICA NAO | ARMOX 500T | UNIDADES |
|----------------------------|--------------|------------|-----------------|
| Módulo elástico | 1500 | 21000 | N/mm^2 |
| Coefficiente de Poisson | 0.25 | 0.3 | |
| Densidad de masa | 2595 | 7760 | Kg/m^3 |
| Límite de tracción | 37.21 | 1650 | N/mm^2 |
| Límite de compresión | 119.67 | 260 | N/mm^2 |
| Coef. de expansión térmica | 6.6e-005 | 12 | 1/K |
| Conductividad térmica | 1.212 | 50 | $W/(m \cdot K)$ |

Nota: Propiedades asignadas en el componente de simulación (Pastilla de freno).

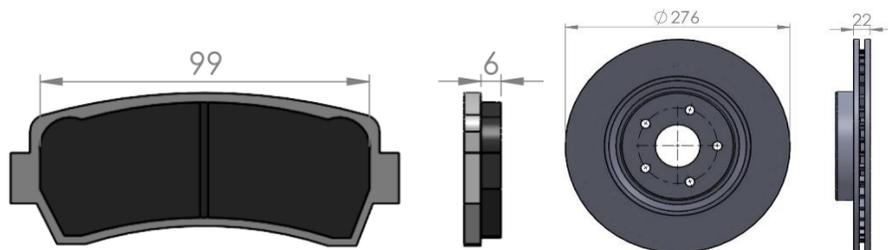
Fuente: (R. Vijay, 2013) Fuente: (Nagendra Kumar, 2020)

Se utilizó un software de elementos finitos para el diseño de las pastillas y disco basados en medidas estándar de un vehículo liviano, la pastilla original se diseñó con un largo de 99mm, y un espesor de 6mm en su área de contacto, (Indufaros SA, 2021) y el disco con un diámetro de 276mm y un espesor de 22mm (AutoDoc, 2023), visualizados en la Figura 6.

Figura 6

Medidas de pastilla original y disco de freno en mm

| | |
|---|--|
|  | Universidad Internacional del Ecuador |
| | DOCUMENTO N°: UIDE- MAT-EIA |
| | INGENIERIA AUTOMOTRIZ |
| | TITULACIÓN |



Fuente: Autores

Al disco se le asignó fundición gris, ya que este es el más utilizado en vehículos livianos (QUADIS, 2020), garantizando su eficiencia con las prestaciones enunciadas en la Tabla 2.

Tabla 2

Propiedades del material Fundición gris

| PROPIEDAD | VALOR | UNIDADES |
|--------------------------------|---------|------------------|
| Módulo elástico | 66178.1 | N/mm^2 |
| Coefficiente de Poisson | 0.27 | |
| Densidad de masa | 7200 | Kg/m^3 |
| Límite de tracción | 151.658 | N/mm^2 |
| Límite de compresión | 572.165 | N/mm^2 |
| Conductividad térmica | 45 | $W/(m \cdot K)$ |
| Calor específico | 510 | $J/(kg \cdot K)$ |

Nota: Propiedades asignadas en el componente de simulación (Disco de freno).

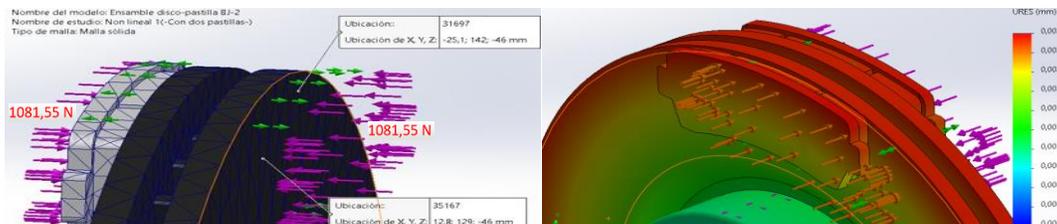
Fuente: (Mesut Duzgun, 2012)

Las fijaciones se establecieron en la parte trasera de ambas pastillas que se observa en la Figura 7 y se aplicó una fuerza de 1081,5N en cada pastilla, con un total de 2163N por disco.

Figura 7

Fijaciones y aplicación de fuerza

| | |
|---|--|
|  | Universidad Internacional del Ecuador |
| | DOCUMENTO N°: UIDE- MAT-EIA |
| | INGENIERIA AUTOMOTRIZ |
| | TITULACIÓN |

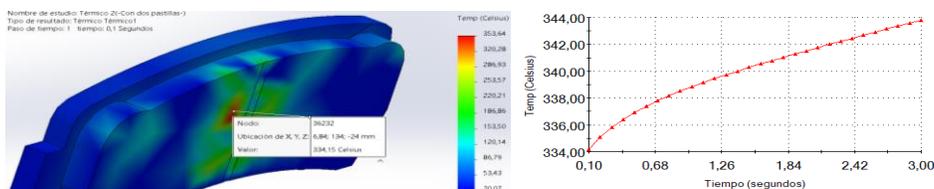


Fuente: Autores

Al realizar la simulación usando el material orgánico, se obtuvieron los resultados de referencia que se observan en la Figura 8 y Tabla 3, con una temperatura final de 334,15°C.

Figura 8

Temperatura máxima en pastilla original



Fuente: Autores

Tabla 3

Datos de simulación inicial con pastilla original

| MODELO | ORIGINAL | MODELO | ORIGINAL |
|------------------------------|--------------|------------------------------------|--------------|
| Mat de pastilla | ORGÁNICO NAO | Mat de pastilla | ORGÁNICO NAO |
| Masa inicial (gr) | 122,031 | Masa inicial (gr) | 122,031 |
| Temp. ambiente (°K) | 293 | Densidad (Kg/m³) | 3000 |
| Poten. Calorífica (W) | 10350 | Superficie (mm²) | 3190,57 |
| Temp inicial (°C) | 23 | Torque de motor | 101,96 |
| Temp. final (°C) | 334,15 | Pérdida masa(gr) | 0,083 |

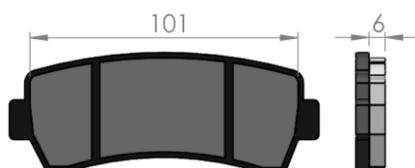
Nota: Resultados del análisis térmico y dinámico de la simulación 1 (Pastilla original)

| | |
|---|--|
|  | Universidad Internacional del Ecuador |
| | DOCUMENTO N°: UIDE- MAT-EIA |
| | INGENIERIA AUTOMOTRIZ |
| | TITULACIÓN |

En base al análisis se hizo el rediseño con una geometría de 2 ranuras y 3 superficies de contacto, generando una mayor disipación de calor con las medidas especificadas en la Figura 9.

Figura 9

Pastilla de freno rediseñada (BJ-1)



Fuente: Autores

En el modelo BJ-1 se conservó el material orgánico, y se procedió a realizar la simulación, donde se obtuvo una temperatura de 265,7°C observado en la Tabla 4.

Tabla 4

Datos de simulación con pastilla BJ-1

| MODELO | BJ-1 | MODELO | BJ-1 |
|-------------------------|----------------|-----------------------|----------------|
| Mat disco | Fundición gris | Mat disco | Fundición gris |
| Mat de pastilla | ORGÁNICO NAO | Mat de pastilla | ORGÁNICO NAO |
| Masa inicial (gr) | 123,369 | Masa inicial (gr) | 123,369 |
| Temp. ambiente (°K) | 293 | Densidad (Kg/m^3) | 3000 |
| Potencia Calorífica (W) | 10220 | Superficie (mm^2) | 3281,08 |
| Temp inicial (°C) | 23 | Torque de motor | 101,96 |
| Temp. final (°C) | 265,7 | Pérdida masa(gr) | 0,075 |

Nota: Resultados del análisis térmico y dinámico de la simulación 2 (Pastilla BJ-1)

La simulación de la pastilla BJ-2 dio como resultado una temperatura de 248,2°C, que se visualiza en la Tabla 5, siendo el valor más bajo con respecto a los otros modelos.

| | |
|---|--|
|  | Universidad Internacional del Ecuador |
| | DOCUMENTO N°: UIDE- MAT-EIA |
| | INGENIERIA AUTOMOTRIZ |
| | TITULACIÓN |

Tabla 5

Datos de simulación con pastilla BJ-2

| MODELO | BJ-2 | MODELO | BJ-2 |
|-------------------------|----------------|-------------------------------|----------------|
| Mat disco | Fundición gris | Mat disco | Fundición gris |
| Mat de pastilla | ARMOX 500T | Mat de pastilla | ARMOX 500T |
| Masa inicial (gr) | 122,031 | Masa inicial (gr) | 122,369 |
| Temp. ambiente (°K) | 293 | Densidad (Kg/m ³) | 8100 |
| Potencia Calorífica (W) | 12000 | Superficie (mm ²) | 3281,08 |
| Temp inicial (°C) | 23 | Torque de motor | 64,34 |
| Temp. final (°C) | 248,2 | Pérdida de masa(gr) | 0,123 |

Nota: Resultados del análisis térmico y dinámico de la simulación 3 (Pastilla BJ-2)

Se efectúa una comparativa de datos de la pastilla BJ-1 con respecto a la pastilla original, con una disminución de 68,45°C y una pérdida de masa menor de 0,0076 gramos, el modelo BJ-2 reduce la temperatura en un 85,95°C, pero aumenta la pérdida de masa con respecto al original y BJ-1, que se puede visualizar en la Tabla 6.

Tabla 6

Comparación de datos originales con pastilla BJ-1

| MODELO DE PASTILLA | ORIGINAL | PASTILLA BJ-1 | PASTILLA BJ-2 |
|-------------------------|--------------|---------------|---------------|
| Material de pastilla | ORGÁNICO NAO | ORGÁNICO NAO | ARMOX 500T |
| Masa inicial (gr) | 122,031 | 122,031 | 122,369 |
| Temp. ambiente (°K) | 293 | 293 | 293 |
| Potencia Calorífica (W) | 10350 | 10220 | 12000 |
| Temp inicial (°C) | 23 | 23 | 23 |
| Temp. final (°C) | 334,15 | 265,7 | 248,2 |
| Pérdida de masa(gr) | 0,083 | 0,075 | 0,123 |

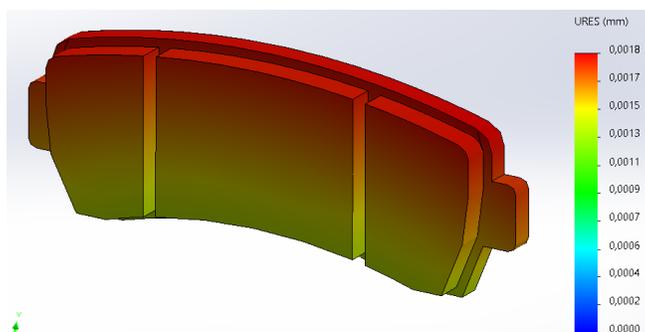
Nota: Resultados del análisis de simulación completa (Pastilla con rediseño y acero)

| | |
|---|--|
|  | Universidad Internacional del Ecuador |
| | DOCUMENTO N°: UIDE- MAT-EIA |
| | INGENIERIA AUTOMOTRIZ |
| | TITULACIÓN |

En la Figura 10, se observa la pérdida de masa en la pastilla BJ-2, sin embargo, se presenta la mejora requerida en base a la temperatura, ya que existe reducción con respecto a los dos modelos alternativos.

Figura 10

Pérdida de masa en pastilla (BJ-2)



Fuente: Autores

Resultados y discusión

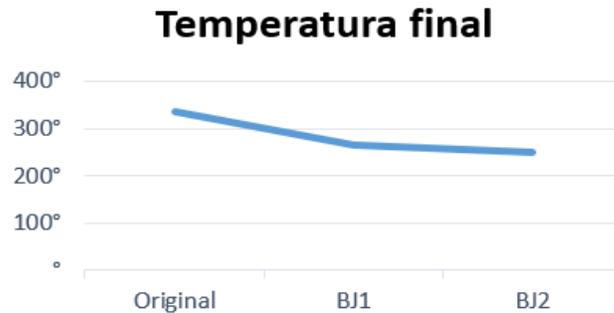
En el análisis se distinguen los materiales de cada modelo de pastilla, donde el modelo original y el modelo BJ-1 tienen una masa inicial de 122,03 (gr), en el tercer modelo una masa inicial de 122,36 (gr), un valor conservado es la temperatura ambiente de 293°K en los tres modelos.

Por ende, se obtuvieron los resultados favorables al finalizar el análisis en comparación con el modelo original, siendo este el que presenta una temperatura final máxima de 334,15 °C, por otro lado, la pastilla BJ-1 con una temperatura de 265,7 °C, y finalmente el modelo BJ-2 con rediseño y material modificado presenta una temperatura final de 248,2 °C que se observa en la Figura 11, generando una disminución importante con respecto al modelo original.

| | |
|---|--|
|  | Universidad Internacional del Ecuador |
| | DOCUMENTO N°: UIDE- MAT-EIA |
| | INGENIERIA AUTOMOTRIZ |
| | TITULACIÓN |

Figura 11

Comparativa de temperatura final

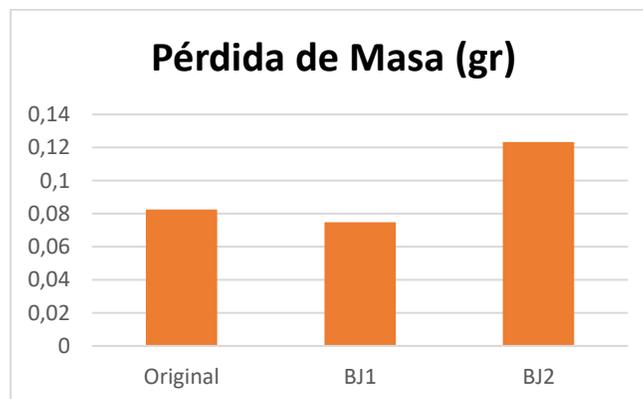


Fuente: Autores

Tras el análisis, se genera una pérdida de masa considerable en todos los modelos desde el Original con 0,08 (gr) en su masa, seguido del modelo BJ-1 con una pérdida de 0,07 (gr) y el modelo de BJ-2 con una pérdida de masa de 0,12 (gr), comparados en la Figura 12.

Figura 12

Comparativa de pérdida de masa



Fuente: Autores

| | |
|---|--|
|  | Universidad Internacional del Ecuador |
| | DOCUMENTO N°: UIDE- MAT-EIA |
| | INGENIERIA AUTOMOTRIZ |
| | TITULACIÓN |

Conclusiones

En conclusión, en este artículo se demostró que el rediseño y análisis de una pastilla de freno original influye en el proceso de frenado de un vehículo, con el material de acero balístico y el diseño de la pastilla de freno con 2 ranuras y 3 superficies de contacto, se logró reducir la temperatura generada al momento de frenar, demostrando así que el diseño de la pastilla de freno contribuye en la disipación de calor y reduce la temperatura al frenar de 90 km/h a 0 km/h.

Como resultado, el rediseño geométrico de 2 ranuras con 3 almohadillas de contacto y el cambio de material con Armox 500T, se logró reducir la temperatura en un 25,72 % en comparación con el modelo original de material orgánico.

El acero balístico es una opción viable para la fabricación de las pastillas de freno, no obstante, requiere de una combinación más exhaustiva con fibras para optimizar y reducir la pérdida de masa, a su vez se debe realizar un análisis con el fin de establecer un proceso de manufacturación adecuado para este material específico.

Finalmente, los límites de esta investigación se dan por la disponibilidad del material y la existencia de fábricas de pastillas de freno que puedan soportar los medios para su fabricación, el análisis se realizó por software de simulación tridimensional con el propósito de incluir una alternativa más eficiente y reducir los riesgos por recalentamiento, sin embargo este estudio está ofreciendo una nueva opción para los fabricantes de pastillas de freno comprobando su eficiencia, con esta información las empresas pueden considerar rediseñar y reestructurar el material de las pastillas para que puedan ser verificadas en la práctica, permitiendo implementar mejoras para el sistema integral de frenos, generando una mayor seguridad del consumidor al no sufrir recalentamiento en condiciones normales de trabajo.

| | |
|---|--|
|  | Universidad Internacional del Ecuador |
| | DOCUMENTO N°: UIDE- MAT-EIA |
| | INGENIERIA AUTOMOTRIZ |
| | TITULACIÓN |

Referencias Bibliográficas

- Aditya Choudhary. (2023). *Science Direct*.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214785323005461?via%3Dihub>
- Albornoz. (Julio de 2011). *Creando conciencia*.
<https://creandoconciencia.org.ar/enciclopedia/accidentologia/la-fisica-de-la-colision/FUERZAS-DE-FRENADO.pdf>
- Alejandro Isaías. (Abril de 2013). *Scielo*.
https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-893X2014000100010#:~:text=%22La%20fricci%C3%B3n%20es%20una%20fuerza,en%20sentido%2C%20a%20su%20movimiento.
- Ali Belhocine. (Junio de 2016). *Science Direct*.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1110016816300382>
- Alzallú Soriano. (Agosto de 2016). *Publicaciones didácticas*.
<https://core.ac.uk/download/pdf/235859051.pdf>
- Anaya. (2014). *Scielo*. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-893X2014000100010#:~:text=%22La%20fricci%C3%B3n%20es%20una%20fuerza,en%20sentido%2C%20a%20su%20movimiento.
- Anónimo. (2018). *AutoDoc*. <https://www.autodoc.es/info/pastillas-de-freno-como-no-se-debe-tomar-la-decision-equivocada#:~:text=El%20coeficiente%20de%20fricci%C3%B3n%20de,par%C3%A1metro%20puede%20alcanzar%20el%200.5.>
- Anónimo. (2018). *Industriapedia*. <https://industriapedia.com/que-es-resistencia-a-la-traccion/>
- Anónimo. (Abril de 2020). *Ingeniería y Mecánica*.
<https://www.ingenieriaymecanicaautomotriz.com/como-calcular-el-torque-y-la-fuerza-de-frenado-en-frenos-de-disco/>
- Armox. (2023). *Ssab*. <https://www.ssab.com/es-mx/marcas-y-productos/armox/oferta-de-productos/armox-500t>
- AutoDoc. (2023). *AutoDoc*. <https://www.auto-doc.pt/peças-sobresselentes/disco-de-travao-10132/vw/polo/mf-textar>
- Camelia Pinca. (2021). *Science Direct*.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214785321032168>

| | |
|---|--|
|  | Universidad Internacional del Ecuador |
| | DOCUMENTO N°: UIDE- MAT-EIA |
| | INGENIERIA AUTOMOTRIZ |
| | TITULACIÓN |

- Cesar Muñoz. (Octubre de 2020). *Escuela politécnica de Chimborazo*.
<http://dspace.espace.edu.ec/bitstream/123456789/15296/1/65T00356.pdf>
- Coshair. (2022). *Coshair*. <https://coshair.ru/es/crop/temperatura-nagrevaniya-tormoznyh-diskov-greetsya-perednii-tormoznoi/>
- Deffendor. (2023). *Deffendor*. <https://www.deffendor.com/>
- Disauto. (2023). *Disauto*. <https://disauto.ec/product/pastillas-de-freno-ford-f150-2004-2017-4x2-4x4/>
- Disauto. (2023). *Disauto*. <https://disauto.ec/product/pastillas-de-freno-kia-picanto-morning-1-0-2018-2022/>
- Ferrer. (2021). *Autonocion*. <https://www.autonocion.com/frenos-disco-tambor-componentes-tipos-funcionamiento>
- García Echavez. (2018). *Dialnet*. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/7030764.pdf>
- Habtamu Dubale. (2021). *Science Direct*.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214785321005289>
- Ibhadode. (Abril de 2008). *Research Gate*. https://www.researchgate.net/figure/Physical-and-Mechanical-Properties-of-Optimum-Formulation-and-Commercial-Brake-Pad_tbl1_245406193
- Imporbrake. (2019). *Imporbrake*. <https://www.imporbrake.com/dano-a-los-discos-de-freno/>
- Indufaros SA. (Enero de 2021). *ISL*. <https://es.slideshare.net/IndufarosSA/catalogo-pastillas-freno-diagramas>
- Javier Andrés. (Julio de 2022). *Mecapedia*.
http://www.mecapedia.uji.es/pages/coeficiente_de_Poisson.html
- Jiménez. (Agosto de 2011). *Esime*.
<https://www.repositoriodigital.ipn.mx/bitstream/123456789/14108/1/SEPI%20ESIME%20UA.pdf>
- Jose Albornoz. (Julio de 2011). *Creando conciencia*.
<https://creandoconciencia.org.ar/enciclopedia/accidentologia/la-fisica-de-la-colision/FUERZAS-DE-FRENADO.pdf>
- José Albornoz. (Julio de 2011). *Fuerzas desarrolladas*.
<https://creandoconciencia.org.ar/enciclopedia/accidentologia/la-fisica-de-la-colision/FUERZAS-DE-FRENADO.pdf>

| | |
|---|--|
|  | Universidad Internacional del Ecuador |
| | DOCUMENTO N°: UIDE- MAT-EIA |
| | INGENIERIA AUTOMOTRIZ |
| | TITULACIÓN |

- M. Tauviquirrahman. (Marzo de 2023). *Science Direct*.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S259012302200514X>
- M.H. Pranta. (Marzo de 2022). *Science Direct*.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1110016821004816#b0125>
- M.Z Omar. (Diciembre de 2016). *Academia*.
https://www.academia.edu/42671874/Mechanical_properties_and_microstructures_of_steel_panels_for_laminated_composites_in_armoured_vehicles
- Mesut Duzgun. (2012). *Researchgate*. https://www.researchgate.net/figure/Mechanical-and-thermal-properties-of-brake-discs-and-pads_tbl1_257774691
- Mesut Duzgun. (Enero de 2012). *Researchgate*. https://www.researchgate.net/figure/Mechanical-and-thermal-properties-of-brake-discs-and-pads_tbl1_257774691
- Nagendra Kumar. (Abril de 2020). *Research gate*.
https://www.researchgate.net/figure/Properties-of-Armox-500T-experimental_tbl1_340589410
- OECD. (2006). *Ant*. <https://www.ant.gob.ec/manual-de-seguridad-vial-urbana-de-ecuador-2/manual-de-seguridad-vial-urbana-de-ecuador-catalogo-practico/#:~:text=Seg%C3%BAn%20la%20legislaci%C3%B3n%20ecuatoriana%2C%20el,km%2Fh%20en%20zonas%20escolares.&text=Todos%20los%20l%C3%ADm>
- QUADIS. (Diciembre de 2020). <https://www.quadisrecambios.es/blog/recambios-originales/frenos-sistemas-materiales/#:~:text=Los%20discos%20de%20freno%20suelen,de%20los%20veh%C3%ADculos%20de%20competici%C3%B3n>
- R. Vijay. (Octubre de 2013). *Hindawi*. <https://doi.org/10.1155/2013/165859>
- S. Sathishkumar. (2022). *Science Direct*.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214785321066141>
- Sergio Campos. (Abril de 2020). *Sr ruedas*. <https://srruedas.com/frenos/que-pastillas-de-frenos-son-mejores/>
- Shi Shenshen. (Mayo de 2016). *Automobile Brake System*.
<https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/111425/Shi%20Shenshen%20Thesis%20AUTOMOBILE%20BRAKE%20SYSTEM.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Sumit Kalipada. (2022). *Science Direct*.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214785322043346>

| | |
|---|--|
|  | Universidad Internacional del Ecuador |
| | DOCUMENTO N°: UIDE- MAT-EIA |
| | INGENIERIA AUTOMOTRIZ |
| | TITULACIÓN |

Theodor Krauthammer. (2008). *Dokumen*. <https://dokumen.tips/documents/modern-protective-structures.html?page=1>

Tiefang Zou. (Abril de 2011). *Science Direct*.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0379073810004536>

Vicctor Roda. (Agosto de 2022). *Mecapedia*.
http://www.mecapedia.uji.es/pages/modulo_de_elasticidad.html

Wheel Size. (Julio de 2023). *Llantas Neumáticos*. <https://llantasneumaticos.com/tire/iso-metric-205-55-R-16/>