



# Title: Tribological analysis of braking systems and their evolution in sustainable characterization

**Authors:** LAGOS-LÓPEZ, Lorena, CRUZ-GOMEZ, Marco Antonio, MEJÍA-PÉREZ, José Alfredo and ESPINOSA-CARRASCO, María del Rosario

Editorial label ECORFAN: 607-8695  
BCIERMMI Control Number: 2022-01  
BCIERMMI Classification (2022): 261022-0001

Pages: 16  
RNA: 03-2010-032610115700-14

**ECORFAN-México, S.C.**  
143 – 50 Itzopan Street  
La Florida, Ecatepec Municipality  
Mexico State, 55120 Zipcode  
Phone: +52 1 55 6159 2296  
Skype: ecorfan-mexico.s.c.  
E-mail: contacto@ecorfan.org  
Facebook: ECORFAN-México S. C.  
Twitter: @EcorfanC

[www.ecorfan.org](http://www.ecorfan.org)

### Holdings

Mexico	Colombia	Guatemala
Bolivia	Cameroon	Democratic
Spain	El Salvador	Republic
Ecuador	Taiwan	of Congo
Peru	Paraguay	Nicaragua



- 1 Introducción
- 2 Análisis de ensayos tribológicos
- 3 Discusión de resultados
- 4 Conclusiones
- 5 Agradecimientos
- 6 Bibliografía





# INTRODUCCIÓN



- Uno de los objetivos de la tribología es minimizar el desgaste, optimizar la fricción en función de la temperatura en el área de contacto en frenos, embragues y neumáticos.
- El frenado está relacionado con los fenómenos de desgaste por abrasión, deslizamiento y adhesión principalmente provocando un aumento de la temperatura que se transmite a todo el sistema generando la transformación de la energía entre una parte fija “caliper” y una rotatoria “disco”.
- Cuando accionamos el pedal de freno, este es presurizado por un circuito hidráulico que desplaza las pastillas de freno ejerciendo presión sobre el disco hasta el bloqueo. Las pastillas deben soportar altas temperaturas sin desgastarse en exceso.

# INTRODUCCIÓN

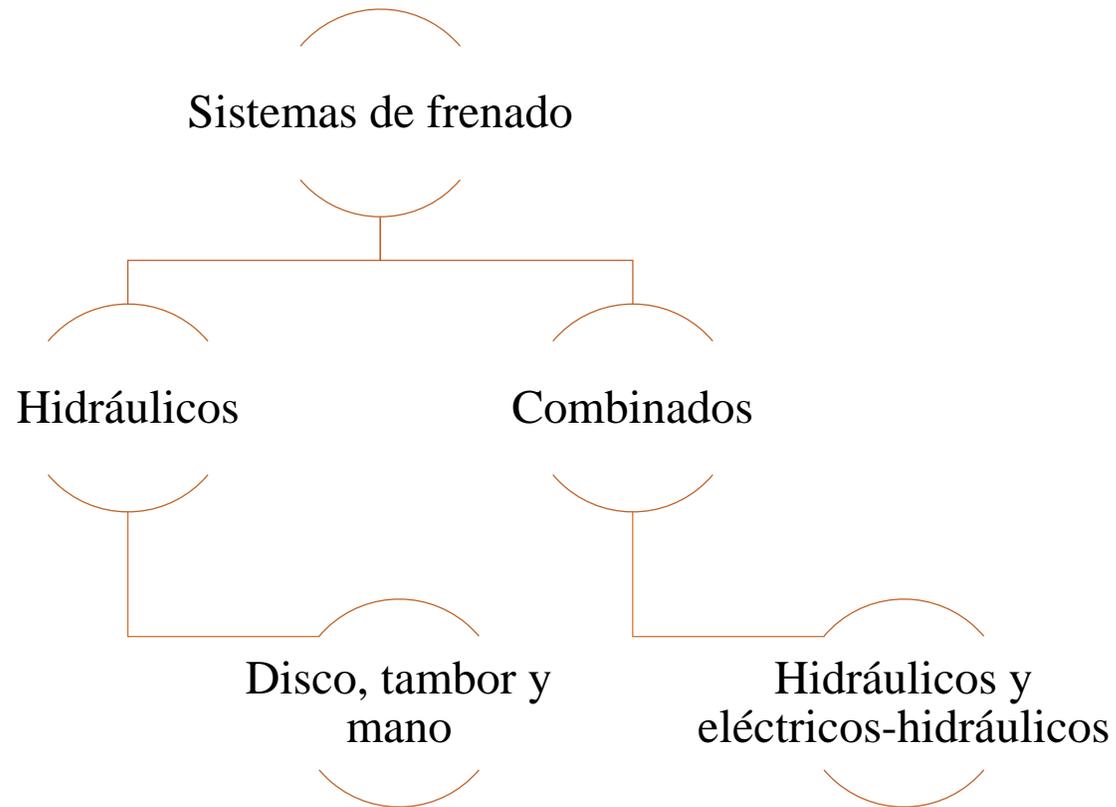


Figura 1. Sistema de frenado regenerativo. Fuente: *Fernandes M. (2016)*.



# INTRODUCCIÓN



- Los frenos regenerativos son diferentes de los frenos de fricción, en que el motor eléctrico funciona en reversa cuando el conductor pisa el freno.
- Con los sistemas de frenado tradicionales, esta energía se pierde en forma de calor, pero en sistemas de frenado regenerativo la energía es aprovechada mejorando la eficiencia energética del vehículo y extendiendo la vida útil del sistema de frenado por menor desgaste.
- En sistemas de frenos combinados, la computadora del automóvil determina cuándo activar el sistema de frenos de fricción o el regenerativo. Si el vehículo necesita detenerse rápidamente para evitar una colisión se aplicarán solo los frenos convencionales para evitar dañar los sistemas regenerativos.
- Estos sistemas utilizan una cantidad de sensores adicionales para el envío de señales a una computadora central, que bajo una lógica programada identifican en un algoritmo la respuesta que será enviada al sistema de frenado de acuerdo a la condición de operación del usuario con su entorno.



# INTRODUCCIÓN



- Las propiedades tribológicas durante el fenómeno de frenado tienen una influencia en la operación y sus fallas como los ruidos y vibraciones que aparece a velocidades de deslizamiento muy bajas para que ocurra otro fenómeno denominado deslizamiento, el coeficiente de fricción estática ( $\mu_s$ ) entre dos superficies de contacto de los materiales de fricción deben ser mayores que el coeficiente de fricción cinética ( $\mu_k$ ).
- Debido a que estamos hablando de vehículos híbridos y eléctricos, donde la eficiencia es una prioridad, los sistemas siempre intentarán maximizar la cantidad de par torsor de frenado.
- Este trabajo de investigación hace un análisis de las aportaciones de la tribología en sistemas de frenado estándares vs regenerativos mostrando la forma de análisis en función de bancos de pruebas diseñados con fines de obtención de ensayos controlados para que puedan iterar estas variables en modelos de sensado electrónico para automatizar los sistemas de control de frenado en automóviles eléctricos de alta gama.



# ANÁLISIS DE ENSAYOS TRIBOLÓGICOS



- Los ensayos tribológicos de sistemas de frenado tradicionales o por fricción, accionados por sistemas hidráulicos fueron analizados por diferentes autores identificando como parámetro fundamental el coeficiente de fricción en función de los materiales involucrados en los ensayos de Shababi K. et al. (2017).
- Las pruebas fueron llevadas a cabo en diferentes tipos de tribómetros tanto horizontales como verticales con ensayos estandarizados que emplean el método *Pin on disc* de acuerdo con la norma ASTM G-99.
- El objetivo de estas pruebas fue en todos los casos determinar el comportamiento de diferentes tipos de aceros propios en la manufactura de sistemas de disco de frenado, así como la propuesta de utilizar aceros inoxidable para la manufactura de discos de frenado limpios de corrosión.



# ANÁLISIS DE ENSAYOS TRIBOLÓGICOS



La mayoría de ensayos fueron llevados a cabo en el rango de los siguientes parámetros:

Velocidad máxima de deslizamiento 0.13 - 0.3 m/s, presión de contacto máxima: 0.88 - 0.1 MPa, tiempo total de deslizamiento: 2 - 300 s.

Masa del disco: 0.167 - 0.3 g, calor específico para fundición gris: 560 J / (kg K), velocidad angular 1 - 25 rad/s, carga normal de (25, 50, 75, 100, 150, 200) N, velocidades (20, 40, 60, 80, 100) rpm.

Emisión acústica de 4 - 70 dB, temperatura del contacto al frenado a diferentes velocidades; calculada en el contacto cerrado 100 - 1100 °C.



**CIERMMI  
2022**

# ANÁLISIS DE ENSAYOS TRIBOLÓGICOS



- Durante este periodo justo antes del bloqueo del contacto se pudo identificar que la mayor parte de la energía se pierde durante la conducción de parada y avance que es el periodo de optimización de absorción de energía que estamos buscando, para que los frenos regenerativos sean más eficientes.
- Durante las pruebas de frenado se identificó que podría perderse hasta el 80% de la energía en los fenómenos de parada y salida donde fue medida la temperatura por conducción, debido a que es el método de mayor precisión y exactitud con instrumentación económica.
- Casos de estudio previos han identificado que los frenos regenerativos a menudo pueden retener casi la mitad de esa energía perdida que al cerrar el contacto se convirtió en calor.
- La identificación de pérdida de energía de sistemas de frenado por fricción en las pruebas *pin on disc* determinaron que, si utilizamos en este punto crítico un sistema de frenado regenerativo, estos dos sistemas funcionan mejor en conjunto.



# ANÁLISIS DE ENSAYOS TRIBOLÓGICOS



Al trabajar juntos, los frenos tradicionales o de fricción proporcionan el factor de seguridad de permitir paradas repentinas, mientras que los frenos regenerativos reducen la temperatura, la presión y la cantidad de veces que se deben utilizar los frenos de fricción.

Las pruebas tribológicas *pin on disc* para sistemas de frenado hidráulico en un contacto por fricción en medios controlados con presencia de un tercer cuerpo en el contacto como podría ser un contaminante o condición húmeda se han visto rebasadas para probar los sistemas de frenos regenerativos.

Esta prueba requiere modificaciones para ajustarse a las nuevas normas de frenos combinados de fricción y regenerativos (bajo la norma SAE J2789, SAE J2707, SAE J2784, SAE J2923, SAE J2522, SAE J2521).

En la actualidad países con grandes desarrollos tecnológicos han generado máquinas que proponen soluciones a la industria moderna y que en un perfecto equilibrio entre Investigación aplicada - Industria - Gobierno desarrollan bancos de pruebas que revolucionan la tecnología.



# ANÁLISIS DE ENSAYOS TRIBOLÓGICOS



- El dinamómetro de freno modelo M3000 permite probar los sistemas hidráulicos convencionales, electrohidráulicos, electromecánicos, híbridos regenerativos.
- Permite la simulación de inercia dinámica en el rango de  $kgm^2$  a  $250 kgm^2$
- Hacer el procedimiento de prueba más fácil es posible a pequeña escala utilizando tribómetros M3000. De esta manera, se ahorra tiempo, recursos financieros, y se permite una clasificación temprana de materiales, sin la necesidad de una evaluación de componentes a gran escala.

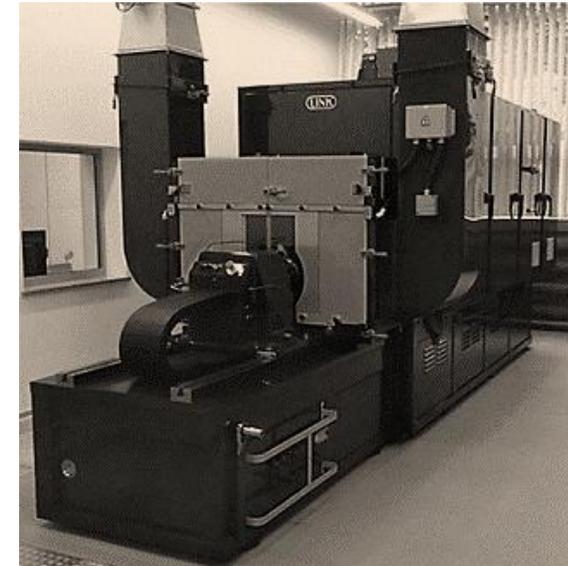


Figura 2. Dinamómetro de freno M3000 para pruebas de frenos BOSMAL Automotive Research and Development Institute Ltd. Fuente: BOSMAL Automotive Research and Development Institute Ltd (2022).



**CIERMMI  
2022**

# RESULTADOS



Los frenos de fricción hidráulicos tienen muchas recomendaciones a favor. Sin embargo, debido a que dependen del acto de presionar un material de fricción contra una superficie en movimiento, las características físicas cambian con el tiempo de manera inteligente.

Estos sistemas de frenado hidráulicos están un paso adelante donde la tecnología ha sido transferida y abaratada por su producción en serie en el sector automotriz.

Un aumento en la presión hidráulica del contacto aumenta la emisión acústica, pero si en el contacto aparece un tercer cuerpo, las emisiones acústicas se triplican por el deslizamiento que presenta en el contacto y disminuye el coeficiente de fricción.



# RESULTADOS



Se considera que el 80% del calor generado por fricción en el disco se disipa a través de los fenómenos de transferencia de calor por conducción, convección y radiación.

Los sistemas de frenado regenerativo en la actualidad representan todo un reto tecnológico que hasta este momento se encuentra en desarrollo y solo se utiliza en prototipos de prueba para condiciones idealistas con parámetros establecidos como: infraestructura y autos de carreras.

La propuesta de maquinarias tribológicas avanzadas son una realidad, pero también maquinarias especializadas de alto costo con todo un conjunto de requerimientos de infraestructura física y de personal especializado para poder operarlas.



# RESULTADOS



Estos sistemas podrán representar un conjunto de oportunidades de capitalización cuando se conjunta una buena visión empresarial, un plan de negocios para que un Departamento de Desarrollo Tecnológico especializado en sistemas de frenado de la industria privada, la Industria Automotriz o para un Centro de Desarrollo Tecnológico Universitario

Para un Centro Educativo Ingenieril este tipo de equipos en su laboratorio representa una inversión inalcanzable para muchas y además de carecer de certificaciones de laboratorios que permitan vender los servicios al sector empresarial.

El avance tecnológico en estos equipos es a pasos agigantados por lo que los centros de alta tecnología con laboratorios certificados tendrán alrededor de 3 a 5 años para explotarlos tecnológicamente.



# CONCLUSIONES



- Las mejoras tribológicas en sistemas automotrices generan un ahorro de energía alrededor del 18,6 %.
- Al igual que con los frenos tradicionales, la tribología y la reducción de la fricción juegan un papel importante en los frenos regenerativos.
- La ingeniería hacia el futuro y la investigación actual apuntan a combinar frenos de fricción y regenerativos para minimizar la pérdida de energía y maximizar la efectividad. A medida que los frenos regenerativos continúan evolucionando, los frenos de fricción pueden volverse obsoletos algún día.
- SAE está desarrollando pruebas que miden el rendimiento combinado de los frenos tradicionales y regenerativos bajo las normas SAE J2789, SAE J2707, SAE J2784, SAE J2923, SAE J2522, SAE J2521.



# AGRADECIMIENTOS



- A la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla; Facultad de Ingeniería, por el apoyo en la utilización de su infraestructura.
- Al Grupo de Tribología y Transporte de la Facultad de Ingeniería BUAP por su apoyo en el análisis y desarrollo del trabajo.
- Cuerpo académico 189 Prevención de Desastres, Desarrollo Sustentable y Tribología, BUAP.



# REFERENCIAS



- Benalcázar, M., & Gabriela, J. (2022). Caracterización y modelización de los fenómenos triboquímicos en la interfaz pastilla/rotor relacionados con el uso de sulfuros sintéticos mixtos en materiales de fricción sin cobre. Universitat de Barcelona. Retrieved August 28, 2022 from <http://hdl.handle.net/2445/186065>
- Campuzano-García, J. Á., Braulio-Sánchez, M., Díaz-Medina, J. D., González-Durán, J. E. E., & Durán-Reséndiz, P. (2022). Diseño y desarrollo de máquina de desgaste tipo pin on ring. *Revista de Ciencias Tecnológicas*, 5(1), 105–120. <https://doi.org/10.37636/recit.v51105120>. Retrieved August 28, 2022
- Das, Shekhar Himadry, et al. (2017). Fuel cell hybrid electric vehicles: a review on power conditioning units and topologies. *Renew Sustain Energy Rev* 2017; 76:268–91. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.03.056>. Retrieved August 16, 2022.
- Fernandes Marcelo Ac. (2016). Fuzzy controller applied to electric vehicles with continuously variable transmission. *Neurocomputing* 2016; 214:684–91. <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2016.06.051>. Retrieved August 16, 2022.
- et al. (2017). The low adhesion problem due to leaf contamination in the wheel/rail contact: bonding and low adhesion mechanisms. *Wear* 2017;378–379:183–97. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2017.02.044>. Retrieved August 16, 2022.
- Kumar K Mohan, et al. (2018). Tribology of silicon surfaces: a review. *Mater Today: Proceedings* 2018;5(11):24809–19. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2018.10.279>. Retrieved August 16, 2022.
- Li Jitai, et al. (2018). Impact of polydimethylsiloxanes on physicochemical and tribological properties of naphthenic mineral oil (KN 4010)-based titanium complex grease. *Chin J Chem Eng* 2018. <https://doi.org/10.1016/j.cjche.2018.09.002>. Retrieved August 16, 2022.
- Ma Z & Zhan C. (2015). System stability and control strategy of electric power steering. Presented at the International Conference on logistics, engineering, management and computer science. Shenyang, China: LEMCS 2015); 2015. Retrieved August 16, 2022 from <https://doi.org/10.2991/lemcs-15.2015.58>
- Núñez, A., & Andree, H. (2022). Gestión del plan de lubricación para disminuir el impacto con la disponibilidad de camiones de acarreo de 400 toneladas en minera Antamina. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. Retrieved August 28, 2022 from <http://hdl.handle.net/20.500.12773/14441>
- Soto López, D. J., & Montañez Bohórquez, J. D. (2022). Elaboración de una propuesta para implementar un sistema de mantenimiento inteligente. Caso de estudio: una flota del SITP del fabricante Daimler Colombia S.A. <https://repositorio.ecci.edu.co/handle/001/2500>. Retrieved August 28, 2022
- Syahir AZ. (2017). A review on bio-based lubricants and their applications. *J Clean Prod* 2017; 168:997–1016. Retrieved August 16, 2022 from <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652617320966>



**ECORFAN®**

© ECORFAN-Mexico, S.C.

No part of this document covered by the Federal Copyright Law may be reproduced, transmitted or used in any form or medium, whether graphic, electronic or mechanical, including but not limited to the following: Citations in articles and comments Bibliographical, compilation of radio or electronic journalistic data. For the effects of articles 13, 162,163 fraction I, 164 fraction I, 168, 169,209 fraction III and other relative of the Federal Law of Copyright. Violations: Be forced to prosecute under Mexican copyright law. The use of general descriptive names, registered names, trademarks, in this publication do not imply, uniformly in the absence of a specific statement, that such names are exempt from the relevant protector in laws and regulations of Mexico and therefore free for General use of the international scientific community. BCIERMMI is part of the media of ECORFAN-Mexico, S.C., E: 94-443.F: 008- ([www.ecorfan.org/booklets](http://www.ecorfan.org/booklets))