

# LICENCIATURA EN INGENIERÍA MECÁNICA



Análisis numérico y experimental de la transferencia de calor en un nuevo diseño de pastillas de frenado.

Proyecto tecnológico

Versión: Primera

Trimestre lectivo: 150

Datos del Alumno:

Alvarez Franco Yair Antonio 2112001235

Firma

Datos del Asesor:

M. en C. Arturo Lizardi Ramos

Profesor Titular C

Departamento de Energía. Área de Termofluidos

Firma

Datos del Co-asesor:

Dra. Guadalupe Juliana Gutiérrez Paredes

Profesora titular C

Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica Unidad Azcapotzalco



26/Octubre/2015

Declaratoria:

En caso de que el Comité de Estudios de la Licenciatura en Ingeniería Mecánica apruebe la realización de la presente propuesta, otorgamos nuestra autorización para su publicación en la página de la División de Ciencias Básicas e Ingeniería.

Alumno:

Álvarez franco Yair Antonio



Firma

Asesor:

M. en C. Arturo Lizardi Ramos



Firma

Co-Asesora:

Dra. Guadalupe Juliana Gutiérrez Paredes



Firma



## Instituto Politécnico Nacional

"La Técnica al Servicio de la Patria"



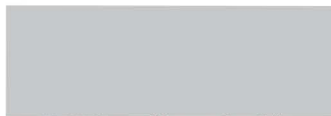
26 de octubre de 2015

### A QUIÉN CORRESPONDA:

Por medio del presente documento manifiesto que el C. **Yair Antonio Álvarez Franco**, alumno de la Universidad Autónoma Metropolitana del trimestre lectivo 150, es actualmente mi asesorado externo en convenio con el asesor interno **M en C. Arturo Lizardi Ramos**, Profesor Titular del Departamento de Energía en el Área de Termofluidos de la misma Universidad, bajo el proyecto tecnológico titulado: "Análisis Numérico y Experimental de la Transferencia de Calor en un Nuevo Diseño de Pastillas de Frenado". Declaro también que el alumno realizará parte de su experimentación en los Laboratorios de Sistemas Automotrices y de Termofluidos ubicados en las instalaciones de la ESIME-UA. La asesoría brindada semanalmente será de 6 horas.

Sin otro asunto por externar, agradezco su amable atención a la presente, reciba mis más cordiales saludos.

Atentamente



**Dra. Guadalupe Juliana Gutiérrez Paredes**  
**Profesora e Investigadora de la ESIME Unidad Azcapotzalco**  
**del Instituto Politécnico Nacional**

[ggutierrezp@ipn.mx](mailto:ggutierrezp@ipn.mx)

[julygp04@yahoo.com.mx](mailto:julygp04@yahoo.com.mx)

## 1. Introducción:

El sobrecalentamiento generado en las pastillas de frenado que se obtiene al detener un automóvil, puede presentar grandes problemas, como: el *fading*, fallas en el sistema de potencia hidráulico de frenos por las altas temperaturas adquiridas debido al rozamiento de las pastillas contra el disco, en el líquido de frenos ya que entra en ebullición el agua absorbida por este líquido, etc. Una posible solución a estos problemas sería mejorar la transferencia de calor en las pastillas, para que disipen su energía térmica acumulada, con un diseño nuevo que contenga aletas en el material de fricción. La forma en que perderá calor es por convección forzada con ayuda del fluido (aire) que disipará la energía térmica al ambiente.

Se simulará la pérdida de calor en las pastillas de frenado con ayuda de un programa computacional llamado ANSYS, tanto del diseño nuevo que contiene aletas y del diseño actual normalizado. Como objetivo principal se pretende analizar los datos arrojados en ambos diseños (diseño con aletas y diseño normalizado). En teoría el nuevo diseño, como cualquier otro dispositivo que contiene aletas tendrá una mayor transferencia de calor (en este caso por convección forzada) esto quiere decir que la energía térmica acumulada, será disipada al ambiente de forma más rápida que el diseño que no contiene aletas. Una vez registrados los datos se sabrá con que transferencia de calor trabaja cada diseño a diferentes temperaturas, enseguida se compararán estos datos y de esta forma se sabrá con qué rapidez el nuevo diseño disipa la energía térmica al ambiente en contra del diseño actual normalizado.

De manera práctica el diseño propuesto, que se muestra en la figura 2 como el diseño normalizado, mostrado en la figura 1, serán sometidos a pruebas experimentales para conocer su transferencia de calor a diferentes temperaturas. Esto con la finalidad de obtener de forma real cómo se comportan y comparar estos resultados con la simulación numérica.

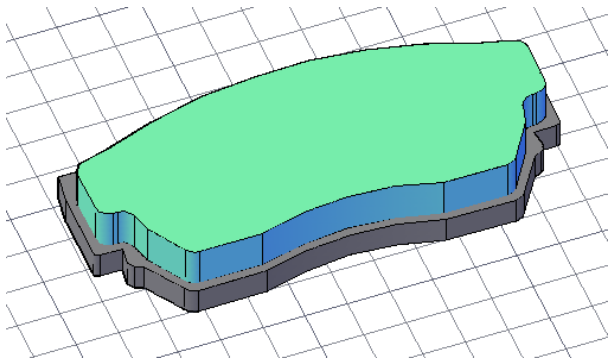


Fig.1 Pastilla de freno normalizada.

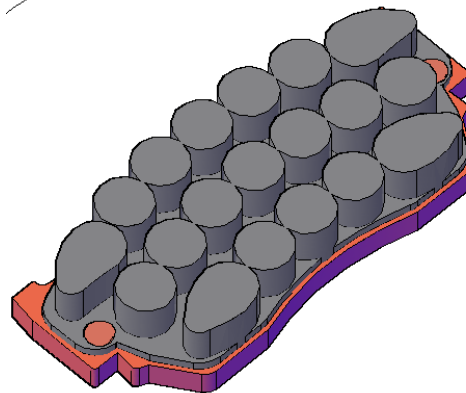


Fig.2 Pastilla de freno propuesta.

La geometría propuesta, que se esquematiza en la Figura 2, es un diseño original del autor, de esta propuesta y fue pensada en base a la experiencia de trabajar en la fabricación de este componente automotriz. El diseño se puede fabricar de manera real, para ser sometido a pruebas térmicas, de fricción, de resistencia, etc.

El análisis numérico pretende resolver las ecuaciones de masa, momentum y energía, para un flujo en convección forzada, con ello se podrá predecir la distribución de velocidades, el campo de temperatura y la transferencia de calor en las pastillas de frenado.

Estas ecuaciones de movimiento que rigen el sistema y con las condiciones de frontera se empleara el método del elemento finito, a través del software ANSYS.

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

$$\rho_o \left( u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} \right) = - \frac{\partial P}{\partial x} + \mu \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) \quad (2)$$

$$\rho_o \left( u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} \right) = - \frac{\partial P}{\partial y} + \rho_o + \mu \left( \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) \quad (3)$$

$$\rho_o C \left( u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} \right) = k \left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) \quad (4)$$

## 2. Antecedentes

El fading es uno de los fenómenos más peligrosos que se pueden presentar en un sistema de frenado, ya que consiste en la pérdida de eficacia de la frenada cuando alcanza una temperatura muy elevada. Este fenómeno suele ocurrir por ejemplo en un frenado enérgico o en una situación con frenadas sucesivas (cuando se baja una pendiente pronunciada con el pedal de freno accionado). En este caso, la temperatura entre las superficies en fricción se eleva en gran medida (incluso, por encima de los 800°C) [4].

Además del fading, las altas temperaturas generadas, podrían dañar el sistema de frenos hidráulico o neumático (subsistema de potencia y subsistema de control). Este se encuentra conectado al Caliper de freno (pinza sujetadora de las pastillas de frenado) [2].

Por otro lado, los líquidos empleados para los sistemas de freno de disco deben soportar unos rangos de temperaturas elevados (entre 230°C y 240°C) que se alcanzan ante situaciones de frenadas bruscas. A estas temperaturas deben permanecer en estado líquido, sin entrar en ebullición cuando las necesidades de frenada sean muy exigentes, conservándose así la propiedad de incompresibilidad de los líquidos.

El principal inconveniente con que cuenta la mayoría de los líquidos de freno es su propiedad higroscópica, es decir, que tienen una gran capacidad de absorber agua. Esta agua lo puede absorber a partir de la humedad presente en el aire atmosférico.

Los inconvenientes que acarrea la presencia del agua en el líquido de freno son múltiples. Por un lado, por ejemplo, si el contenido de agua alcanzase un porcentaje de tan sólo el 3% (que puede ocurrir a los 18 meses de funcionamiento), la temperatura de ebullición del líquido de freno podría caer entre 80 y 90°C de su valor máximo de diseño. Por otro lado, la presencia de agua en el líquido de freno genera problemas de compresibilidad, dado que al alcanzarse una temperatura superior a los 100 °C en el circuito, el agua se evapora transformándose en vapor de agua, que es un gas y por tanto compresible, por lo que parte de la presión comunicada al líquido de freno se empleará en comprimir este vapor de agua, perdiendo eficiencia en el accionamiento de las pastillas de freno.

Los líquidos de frenos se identifican con las letras SAE (Society of Automotive Engineers) / DOT (Department of Transportation) que indican la naturaleza, mezcla y las características de actuación de esa marca de líquido en particular, según los tipos siguientes:

- DOT 3: Cuyo punto de ebullición es de 205°C. Aplicable en frenos convencionales.
- DOT 4: Cuyo punto de ebullición es de 255°C. Este tipo es el empleado en sistemas de freno tipo disco/tambor o disco/disco, sin ABS.
- DOT 5: Cuyo punto de ebullición es de 270°C. Este tipo debe ser el utilizado para vehículos de altas prestaciones y aquellos que vayan dotados con sistemas ABS [4].

Como dato adicional el Instituto Politécnico Nacional trabajó con el problema del sobrecalentamiento que origina el frenado, en el para disco pastilla, pero mejorando la transferencia de calor en el disco de frenos utilizando diferentes materiales y diseños.

La Dra. Guadalupe Gutiérrez Paredes, catedrática e investigadora, explicó que la idea de realizar un nuevo concepto de diseño geométrico interno de los discos surgió luego de realizar pruebas en un banco dinamométrico asistidas por una cámara infrarroja en discos de freno convencionales de autos de servicio rudo como patrullas.

Para garantizar la seguridad de los automovilistas, investigadores de la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica (ESIME), Unidad Azcapotzalco, construyen discos de freno con un diseño geométrico interno que permite una ventilación más eficiente que previene deformaciones, agrietamientos térmicos, fracturas y deterioro o falla prematura. Se observó que al frenar en condiciones súbitas, los componentes alcanzaron hasta los 800 °C, lo cual provoca deformaciones, fracturas, fisuras, manchas, desgaste o falla total antes de concluir su vida útil.

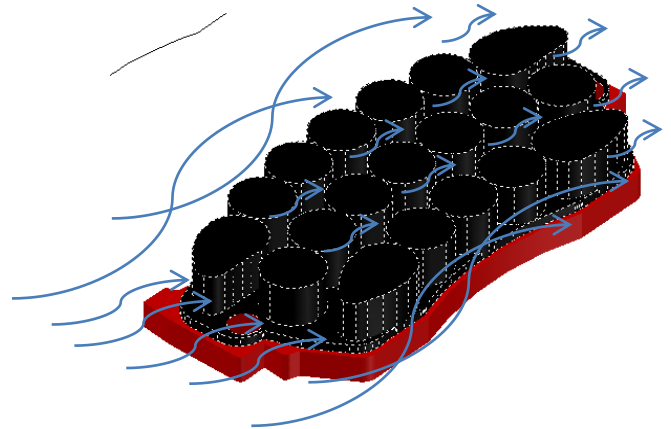
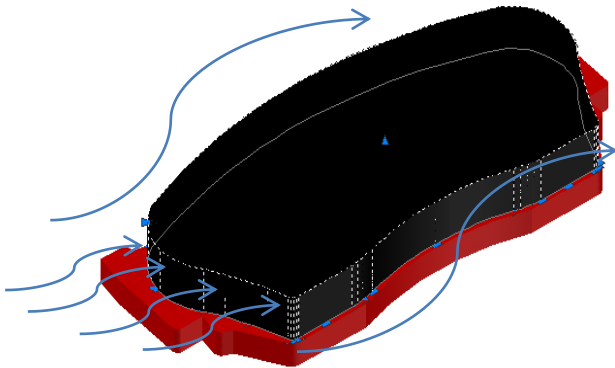
La investigadora indica que el promedio de vida de los discos es de 10 años; sin embargo, hay empresas que introducen materiales de muy baja calidad y prácticamente registran fallas desde los 5 mil kilómetros; es decir menos de un año de vida.

Advirtió que el diseño de las pastillas de frenado de los automóviles no es el adecuado por los materiales de fricción y representan un mayor desgaste.

Mencionó que como arte de otro proyecto, diseñaron materiales más tecnológicos (hierro gris más aleado) para abatir el daño por la temperatura al momento del frenado súbito, ya que sólo ascendió a 350 o 400 grados centígrados, de acuerdo con las pruebas de termografía infrarroja que se practicaron [3].

### **3. Justificación**

Las altas temperaturas generadas debido a la fricción de pastillas contra el disco generan problemas al frenado, es inevitable no tener esta cantidad de energía térmica en las pastillas, sin embargo se considera que es posible, con este diseño (diseño de pastillas de frenos con aletas) disipar esta energía (aumentar la transferencia de calor). Con esto se pretende dar seguridad tanto al automóvil como la del usuario.



#### 4. Objetivos

Objetivo general:

Analizar la transferencia de calor de las pastillas convencionales y las pastillas con nuevo diseño.

Objetivos particulares.

- Diseñar y simular numéricamente la transferencia de calor de la pastilla de frenos con aletas y sin aletas con el software ANSYS.
- Realizar pruebas experimentales en ambos diseños. Lo anterior en condiciones semejantes a las reales.
- Comparar los resultados numéricos y experimentales obtenidos y concluir al respecto.

#### 5. Metodología.

Para la parte de simulación numérica:

- 1) Se plantearán las ecuaciones de conservación de masa, cantidad de movimiento, energía y las condiciones de frontera para los sistemas a analizar.
- 2) Se dibujará la geometría a analizar y se generan los elementos en las fronteras.
- 3) Se introducirá el valor de las propiedades del material y del fluido externo.
- 4) Se introducirán las condiciones de frontera.
- 5) Se empleará el software ANSYS para hacer la simulación.
- 6) Se indica al software que los resultados se muestren a través de gráficas de distribución de velocidades y temperaturas.
- 7) Se analizarán los resultados numéricos de ambos casos.

Para la parte de experimentación:

- 1) Se diseñará y construirá el prototipo de la nueva pastilla de frenado.
- 2) Se propondrá el sistema experimental (acondicionamiento del banco de pruebas de frenado).
- 3) Se determinarán los gradientes térmicos y la evolución de la temperatura del conjunto pastilla disco.
- 4) Se analizará de los resultados obtenidos en la experimentación.

## 6. Cronograma de actividades.

	ACTIVIDADES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Hacer una revisión bibliográfica	X	X	X	X								
2	Plantear las ecuaciones de conservación y condiciones de frontera		X	X									
3	Hacer la programación en el software			X	X								
4	Analizar los resultados numéricos					X	X						
5	Diseñar la nueva balata			X	X								
6	Construir la balata con el nuevo diseño				X	X	X						
7	Realizar las pruebas experimentales							X	X	X	X		
8	Analizar los resultados experimentales									X	X	X	X
9	Hacer una comparación numérica y experimental de ambos casos.										X	X	X
10	Elaborar el reporte				X	X	X	X	X	X	X	X	X

## 7. Entregables

- A) Resultados de la simulación numérica. Diagramas de distribución de temperaturas y velocidades.
- B) Simulación en ANSYS.
- C) Resultados de la experimentación. Videos de los experimentos realizados, diagramas de distribución de temperaturas y velocidades.
- D) Dibujos del actual y nuevo diseño.



## 8. Referencias bibliográficas

[1] Yunus A. Cengel, Afshin J. Ghajar., Transferencia de calor y masa., Cuarta Ed., McGraw-Hill,(2012).

[2] Gerardo Aragón González, Aurelio Canales Palma, Alejandro León Galicia., Introducción a la Potencia Fluida., Primera Ed., Reverte, España, (2014).

[3] 1040, "Aportan nuevo diseño de discos de freno para mejorar seguridad", Gaceta Politécnica, vol.16, (2013).

[4]

<http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn74.html><http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn74.html>, Ingemecánica, Tutorial numero 74, (2015).

## 9. Apéndices

No necesarios.

## 10. Terminología

El fading es uno de los fenómenos más peligrosos que se pueden presentar en un sistema de frenado, ya que consiste en la pérdida de eficacia de la frenada cuando se calienta.

Caliper de freno: pinza sujetadora de las pastillas de frenado.

## 11. Infraestructura

Para simulación: software y hardware prestados por la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM-A).

Para experimentación: Bancos de prueba, cámara infrarroja, cámara rápida y software prestados por el Instituto Politécnico Nacional (IPN).

Para construcción: Maquinaria propia.

## 12. Estimación de costos.

Partida			Subtotal(\$)
(sueldo base semana/40 horas)	Tiempo dedicado al proyecto (horas)	Estimación de la partida (\$/hora de trabajo)	
Asesor	6 h por semana	\$125	\$8,250
Asesorías adicionales	6 h por semana	\$135	\$8,910
Otro personal de la			

UAM		
Banco de prueba mas software, otros equipos prestados por IPN, Maquinaria propia para la fabricación de la balata.		\$4,600,000
ANSYS, Autocad, office, CATIA, AUTODYN.		\$70,000
Computadora de escritorio, impresora.		\$10,000
Material de consumo (materia prima para la fabricación de la balata)		\$23,000
Documentación y publicaciones		\$4,000
Otros		
	Total (\$)	4,724,160

### **13. Asesoría complementaria.**

Dra. Guadalupe Juliana Gutiérrez Paredes

Profesora titular

Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica Unidad Azcapotzalco

Tel. 5729-6000, Ext. 64506, e mail: [ggutierrezp@ipn.mx](mailto:ggutierrezp@ipn.mx)

### **14. Patrocinio externo**

Instituto Politecnico Nacional.

## **15. Publicación o difusión de los resultados**

Se publicará en memorias de congreso sobre Ingeniería Mecánica.

SOMIM

CIBIM