

## Análisis finito del calor generado en un sistema de frenos de tipo de tambor

César Caín Chávez Sandoval<sup>1</sup>, Juan Antonio López Rodríguez<sup>1</sup>,  
Francisco Javier López Jaques<sup>1</sup>, Ulises Mendoza Arvizo<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

### Resumen

Para el desempeño óptimo en un sistema de frenado y mantener la integridad de sus componentes, y tener un factor de seguridad lo suficientemente amplio para que el usuario de un automóvil, al momento de conducir el desempeño del sistema no sea una preocupación al momento de tener un evento de frenado. Dentro de los factores que deben ser considerados en estos sistemas es la disipación de la temperatura generada por la fricción de los componentes que entran en contacto al momento de frenar, el objetivo de este proyecto es obtener un modelo bajo el análisis de elementos finitos la distribución de la temperatura en un sistema de frenado automotriz del tipo de tambor. Se tomó como base un análisis de elementos finitos un sistema de frenos de disco, generado en base a datos de coordenadas y comandos de Abacus, la desventaja de este modelo es lo complicado para correr diferentes geometrías, por lo que después de entender la lógica de este modelo se generaron modelos paramétricos del sistema de frenos de tambor para tener la flexibilidad de modificar el modelo con relativa facilidad para generar diferentes geometrías y analizar el efecto de estas en las solución. Se agregaron las condiciones de simulación del sistema, tales como la fuerza, tiempo de aplicación de esta, las propiedades de los materiales, se agregaron también los grupos de aplicación de las condiciones de entrada, así como las de salida.

**Palabras clave:** Abacus, Tambor, FEA, Cinética, Potencial

### Introducción

En años recientes la competitividad de las compañías no solo se da en el ámbito de estar en los mercados mundiales con una diversidad amplia de productos, sino también en estar a la vanguardia en uso de las nuevas tecnologías y sobre todo en la introducción de nuevos productos al mercado en tiempos relativamente cortos, y con los índices más altos de calidad.

Al revisar investigaciones relacionados al mejoramiento del desempeño de los sistemas de frenado, es evidente, que un mejor entendimiento, para este caso en particular relacionado a las temperaturas de operación del sistema de frenado, la distribución de la temperatura en los componentes de estos sistemas, es de vital importancia para hacer mejoras de diseño para la disipación del calor,

para poder entender con cierto grado de confiabilidad, es necesario apoyarnos en el uso de programas de ingeniería asistida por computadora por sus siglas en inglés CAE (Computer Aided Engineering) y del cual tomaremos para tener estas aproximaciones el análisis de elementos finitos o método de elementos finitos, por sus siglas en inglés FEA (Finite Element Analysis) y FEM (Finite Element Method), respectivamente.

Los sistemas de frenado automotriz más comunes son el sistema de frenos de disco y de tambor como se muestra en la 0Respectivamente. El sistema de disco es el más adoptado en la mayoría de los vehículos, por su acción de frenado enérgica, que se traduce en una menor distancia de parada. Ello es debido a que los elementos de fricción van montados al aire, al disponer de una mejor ventilación, la absorción de energía y transformación en calor se puede realizar más rápidamente (Meganeboy, 2014). El sistema de tambor está constituido por un tambor, que es el elemento móvil, montado sobre el buje de la rueda por medio de unos tornillos o espárragos y tuercas, del cual recibe movimiento, y un plato de freno, elemento fijo sujeto al puente o la mangueta. En este plato van instalados los elementos de fricción, llamados ferodos, y los mecanismos de accionamiento para el desplazamiento de las zapatas (Meganeboy, Sistema de Frenos (Tambor), 2014).

Los esfuerzos mecánicos y térmicos a los que están sometidos los sistemas de frenado son en extremo severos, por lo que el entendimiento de estos comportamientos nos ayuda a tener mejores sistemas de frenado. Este proyecto está enfocado a la temperatura generada al momento

de un evento de frenado, para mejorar en futuros proyectos la disipación, del calor generado, ya sea en propuestas de diseño o nuevos materiales.

La energía que debe ser capaz de absorber el sistema de frenado, está determinada por tres fuentes principales de energía, la energía cinética de translación, la energía de rotación y la energía potencial.

$$E_1 = \frac{1}{2} m [(v_1)^2 - (v_2)^2]$$

Energía de translación (Energía cinética): Considerando una masa  $m$  moviéndose con una velocidad  $V1$   $m/s$ , la cual es reducida a  $v2$   $m/s$  al aplicar el freno. Por lo tanto, el cambio de energía cinética por translación de la masa está dada por, (Khurmi & Gupta, 2005)

$$E_2 = \frac{1}{2} I [(\omega_1)^2 - (\omega_2)^2]$$

Energía de rotación (Energía cinética): Considerando una masa con un momento de inercia  $I$  relacionada a un eje de rotación, al cual está rotando con una velocidad angular  $w1$   $rad/s$ . Si esta velocidad es reducida a  $w2$   $rad/s$ , después de aplicar el freno, por lo tanto, el cambio de la energía cinética del cuerpo giratorio está dado por, (Khurmi & Gupta, 2005)

$$E_3 = m.g (h_1 - h_2)$$

Energía potencial: Algunas veces, el freno tiene que absorber también la energía potencial como en los elevadores, los autos a bajar una colina, etc. Considere un cuerpo de masa  $m$  es bajada de una altura  $h1$  a  $h2$  aplicando el freno. Por lo

tanto la energía potencial está dada por (Khurmi & Gupta, 2005)

Así la energía total absorbida por el freno es,

$$E = E1 + E2 + E3$$

De la 00 la fuera actuante de frenado actúa una fuerza diferencial normal cuya magnitud es (Budynas & Nisbett, 2015).

$$dN = \frac{p_a b r \sin \theta d\theta}{\sin \theta_a}$$

La energía absorbida por el freno y transformada en calor debe ser disipada a medio ambiente para evitar que la temperatura de la zapata se eleve demasiado.

El incremento depende de la masa del freno, el tiempo de frenado y la capacidad de disipación de calor del freno. La máxima temperatura recomendada para frenos de automóviles con revestimientos de asbesto es de entre 180-225°C (Khurmi & Gupta, 2005).

Como la energía absorbida y el desgaste de la zapata a una presión particular, depende de la presión de las superficies de frenado, esta es un factor importante para el diseño de frenos y valor va en función del material de fricción de las zapatas y la velocidad de absorción de la energía. La energía absorbida o calor generado está dado por (Khurmi & Gupta, 2005).

$$E = H_g = \mu \cdot R_N \cdot v = \mu \cdot p \cdot A \cdot v \text{ (in J/s or watts)}$$

dónde:

$\mu$  = Coeficiente de fricción,

$R_N$  = Fuerza normal actuando en las superficies de contacto ( $N$ ),

$p$  = Presión normal entre las superficies de frenado ( $N/m^2$ ),

$A$  = Área proyectada de las superficies de contacto ( $m^2$ ), y

$v$  = Velocidad periférica del freno de tambor ( $m/s$ ).

## Método

Trabajos similares a este proyecto no muestran los pasos utilizados en los programas de análisis, como este proyecto podría ser el primero de una serie relacionados a los sistemas de frenado en la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez y para una mejor comprensión de la metodología y en cierto grado facilitar los futuros proyectos, se irán listando los pasos para

la generación del modelo en los módulos del programa de Abaqus.

Los sólidos de los componentes se generan en el módulo de parte (*Part*). La 0muestra la geometría de tambor y la geometría de la zapata respectivamente,

Las propiedades de los materiales se asignan en el módulo de propiedades (*Property*) que se

listan en la  $t$ , así como el coeficiente de fricción a diferentes temperaturas del material de fricción se listan en la  $t$ .

Las partes que se van a usar para el modelo se agrega en las sección de ensamble (*Assembly*), también se agregaran los grupos que serán usados posteriormente en los siguientes módulos para la limitación de las fronteras, aplicación de las presiones, superficies de control, etc. La tabla muestra los grupos utilizados en el modelo con una descripción de ellos y en que van a ser usados.

Los pasos que va a efectuar el modelo se dan en el módulo de pasos (*Step*), El primer paso es de presionar la zapata contra el tambor, este se mantendrá también en el segundo paso, en el que se agregara el desplazamiento del tambor. Así también se agregaran los requerimientos de salida del análisis, que en este caso es la temperatura.

La interacción de fricción entre las partes se agrega en el módulo de interacción (*Interaction*), agregamos una relación de la condición de la capa de las partes, así como los valores del coeficiente de fricción, que influyen directamente en la temperatura generada.

La presión de operación la agregamos en el módulo de carga (*Load*), esta fuera la aplicamos en la cara interior de la zapata como se muestra en la figura, para presionarla contra el tambor. También se incluye en este módulo las condiciones de frontera, para simular la aplicación del sistema.

Para facilitar la solución del modelo lo fraccionamos en el módulo de malla (*Mesh*), En este para poder solucionar este sistema de temperatura usamos una malla de tipo C3D8RT, generando por número de elementos para tener una malla más uniforme y evitar posibles deformaciones en los elementos no deseados que no permitan completar el análisis. La figura muestra la malla del modelo.

Los análisis se crean y se corren en el módulo de trabajo (*Job*). En este módulo es posible en el momento de estar corriendo el análisis, estar monitoreando el resultado, una buena ventaja para tomar la decisión de continuar el análisis o detenerlo para corregir posibles errores o modificar los parámetros de entrada o de salida. La figura muestra la lista de los trabajos corridos en uno de los grupos.

## Resultados

Se hicieron tres diferentes tipos de análisis, cada uno con diez corridas, el primer grupo se corrió manteniendo el tiempo de duración, pero incrementando el giro del tambor, con la finalidad de simular el frenado a diferentes velocidades. El segundo grupo fue incrementando el tiempo a una misma rotación,

para visualizar una aplicación larga de frenado y el tercer grupo fue incrementando el tiempo y la velocidad para simular los tiempos prolongados de frenado a diferentes velocidades.

Los resultados obtenidos para el grupo uno muestran en 0La curva en los primeros puntos muestra una tendencia como se debería esperar,

un incremento en la temperatura al incrementar el número de vueltas, para luego caer y posteriormente volver a subir, esto puede corresponder a un comportamiento relacionado al coeficiente de fricción que varía de acuerdo a la temperatura.

La 0 muestra un decremento en la temperatura, resultado del aumento de tiempo, dando tiempo a que para el mismo giro el tambor tiene tiempo para disipar el calor generado al momento de frenar.

El tercer grupo muestra una curva irregular, con un comportamiento de tendencias sin patrón aparente, esta curva requiere un análisis más

detallado para poder relacionar este comportamiento a una aplicación real del sistema.

En este módulo de trabajos también se puede seleccionar la visualización de resultados, o bien en el módulo de visualización (*Visualization*) es en este donde vemos los valores obtenidos en el análisis, La figura nos muestra los resultados obtenidos tanto numéricamente y en forma gráfica de colores que nos muestra las distribuciones de las temperaturas, siendo esta la que nos lleva a la toma de decisiones al momento de estar diseñando un sistema de frenado.

## Conclusiones

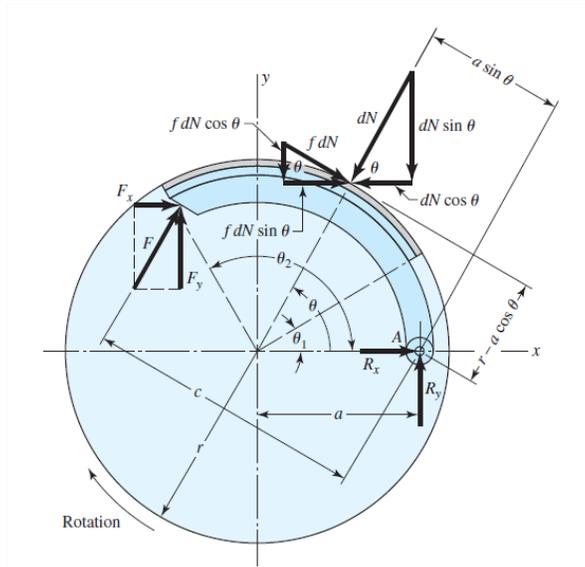
Aunque los datos muestran una curva de acuerdo a lo esperado, no así el tercer cuyos datos muestran una curva no uniforme ya sea con un incremento o decremento de temperatura

de acuerdo al tiempo, por lo que se debe hacer un análisis más detallado de las interacciones entre las variables y el efecto de cada una de ellas en el modelo.

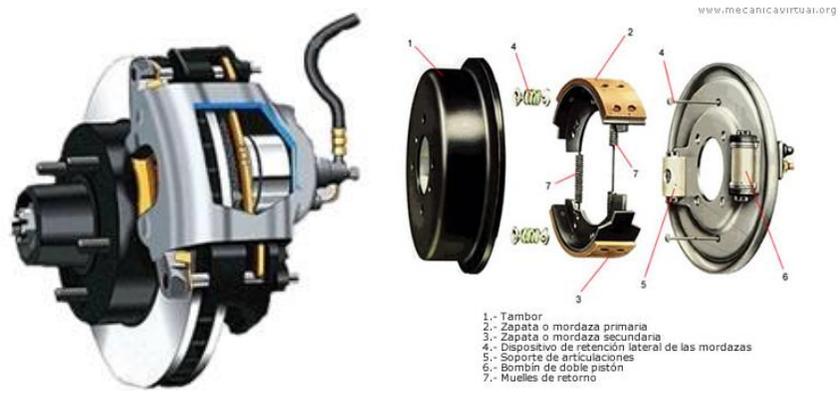
## Recomendaciones

Este proyecto es un modelo únicamente enfocado a entender el comportamiento de la temperatura generada en el sistema de frenos de tipo de tambor, los resultados en dos de los grupos muestran tendencias de acuerdo a la física del calor generado por la fricción de dos cuerpos rozamiento. Una forma de corroborar el modelo es tomar datos en un modelo físico de este sistema de frenado.

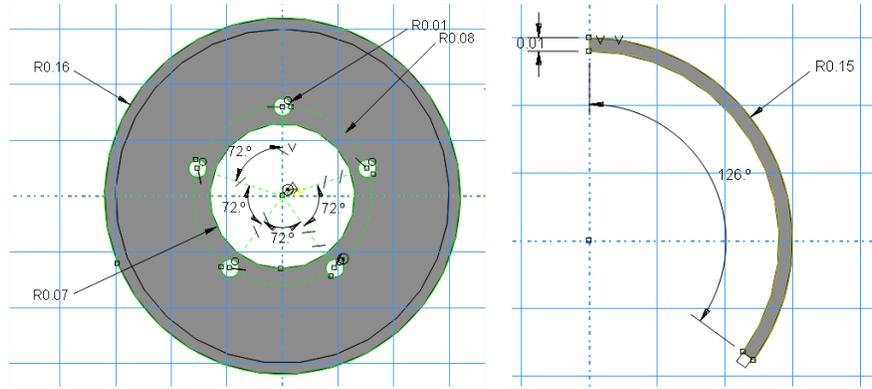
Como se mencionó anteriormente, el sistema de frenos no solo está sometido a esfuerzos térmicos, por lo que deben de desarrollarse análisis mecánicos, combinados térmico-mecánico, flujo de aire en el sistema como disipador de calor, optimización de geometrías, análisis de materiales de construcción, aplicación de métodos externos de enfriamiento, y un modelo físico para la comprobación de los resultados de los modelos mencionados.



Fuerzas actuantes en la zapata



Frenos de disco y tambor.



Geometría en Abaqus del tambor y la zapata.

Comportamiento de los materiales (Dassault, 2016).

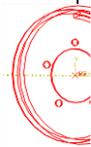
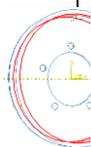
Comportamientos de los materiales (Material Behaviors)		Característica	Tipo (Type)	MAT TAMBOR	MAT ZAPATA	Unidades
General (General)	Densidad (Density)	Densidad - $\rho$ (Density)	Uniforme (Uniform)	7800	1550	$kg/m^3$
Mecánico (Mechanical)	Elasticidad (Elastic)	Módulo de young - E (Young's Module)	Isotrópico (Isotropic)	209E+009	*	$N-mm^2$
		Relación de Poisson's - $\nu$ (Poisson's ratio)	Isotrópico (Isotropic)	0.3	0.25	-
	Expansión (Expansion)	Coefficiente de expansión alfa (Expansion Coeff alpha)	Isotrópico (Isotropic)	1.1E-005	1E-005	$K^{-1}$
Térmico (Thermal)	Calor Especifico (Specific Heat)	Calor Especifico - Cp (Specific Heat)	Volumen constante (Constant Volume)	452	1200	J/kgK
	Conductividad (Conductivity)	Conductividad (Conductivity)	Isotrópico (Isotropic)	48	0.9	w/mK

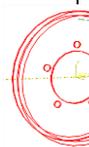
Coefficiente de fricción a diferentes temperaturas.

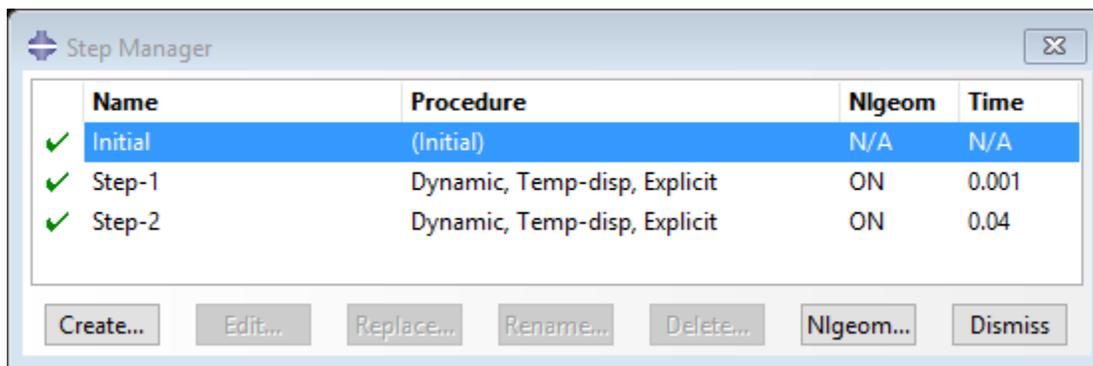
Coefficiente de fricción	Temperatura
0.37	20
0.38	100
0.41	200
0.39	300
0.24	400
0.2	500

Detalles de elementos y geometrías de control.

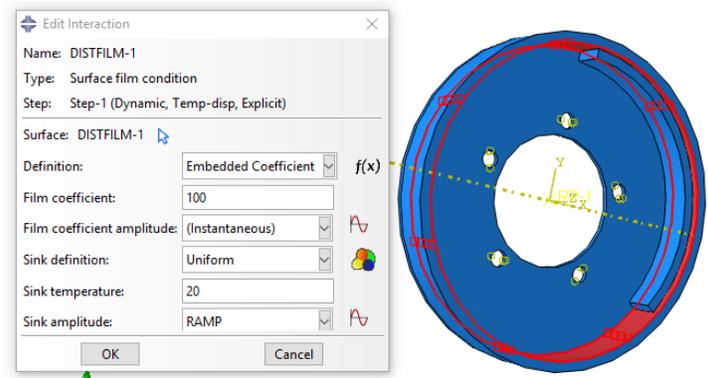
Grupo	Tip o	T amaño	Descripci ón	Des cripción visual
ALLELE MENTS	Ele mento  (El ement)	4  61	Todos los elementos de los dos componentes	

	CENTER	Geometría (Geometry)	1	Centro común de los dos componentes	
	EALL	Geometría (Geometry)	5	Todas las geometrías a utilizar en el análisis	
CK	NPADBA	Geometría (Geometry)	1	Cara de aplicación de la fuerza en la zapata	
T	QA_TES	Geometría (Geometry)	1	Superficie de prueba o medición de la temperatura	
T	SUPPOR	Geometría (Geometry)	0	Grupo para simular la sujeción de la rotación	
	SYMM	Geometría (Geometry)	1	Superficie para limitar movimiento perpendicular a esta	
	Set-14 y Set-15	Geometría (Geometry)	1	Punto de referencia seleccionados para	

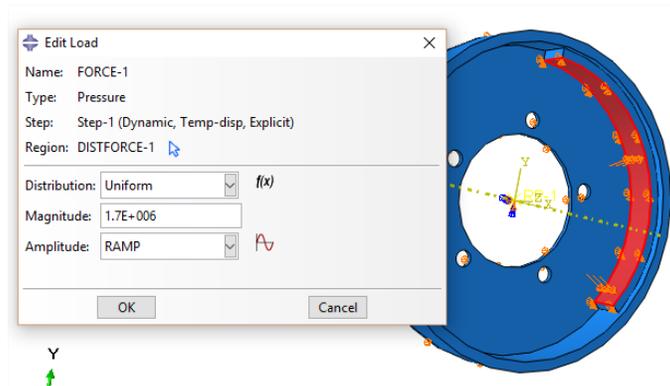
		<i>ometry)</i>		interacciones	
R.	TAMBO	Ge		Grupo	
MBOR	SET_TA	(Ge	2	generado automáticamente al crear el grupo en la parte	
R.	TAMBO	Ge		Grupo	
MBOR	SET_TA	(Ge	2	generado automáticamente al crear el grupo en la parte	



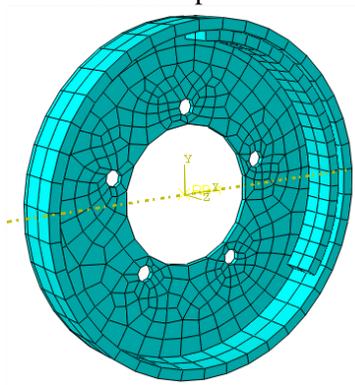
Pasos de modelo



Interacción entre las superficies.



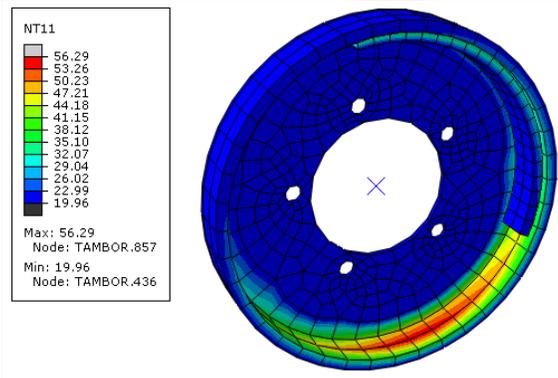
Fuerza aplicada



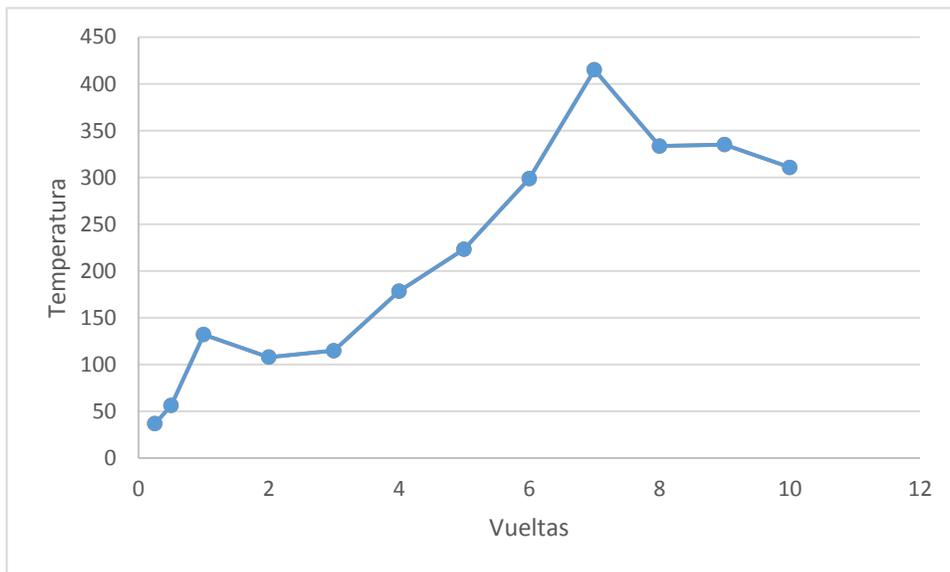
Malla del modelo.

Name	Model	Type	Status
Rotar--1_2-Vuelta	Model-1	Full Analysis	Completed
Rotar--1_4-Vuelta	Model-1	Full Analysis	Completed
Rotar-1-Vuelta	Model-1	Full Analysis	Completed
Rotar-2-Vueltas	Model-1	Full Analysis	Completed
Rotar-3-Vueltas	Model-1	Full Analysis	Completed
Rotar-4-Vueltas	Model-1	Full Analysis	Completed
Rotar-5-Vueltas	Model-1	Full Analysis	Completed
Rotar-6-Vueltas	Model-1	Full Analysis	Completed
Rotar-7-Vueltas	Model-1	Full Analysis	Completed
Rotar-8-Vueltas	Model-1	Full Analysis	Completed
Rotar-9-Vueltas	Model-1	Full Analysis	Completed
Rotar-10-Vueltas	Model-1	Full Analysis	Completed

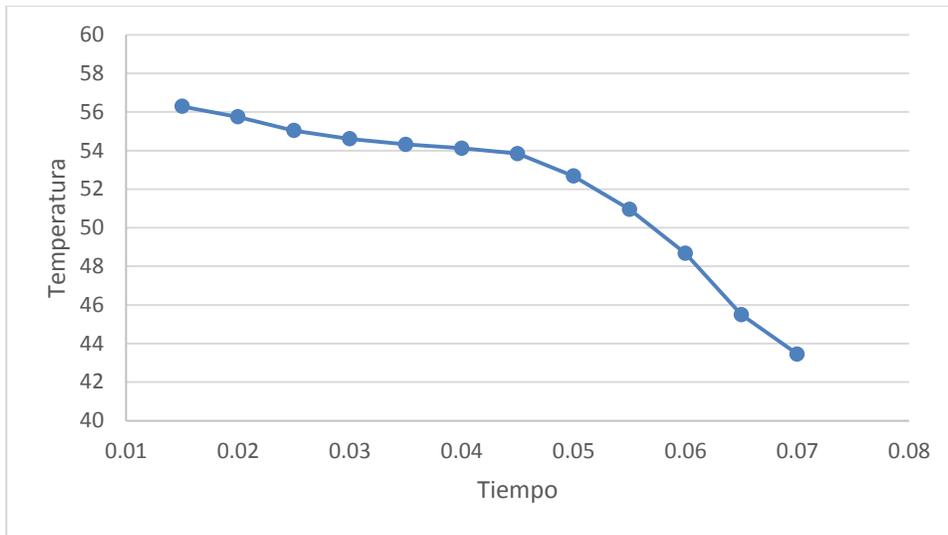
Trabajos corridos en un grupo.



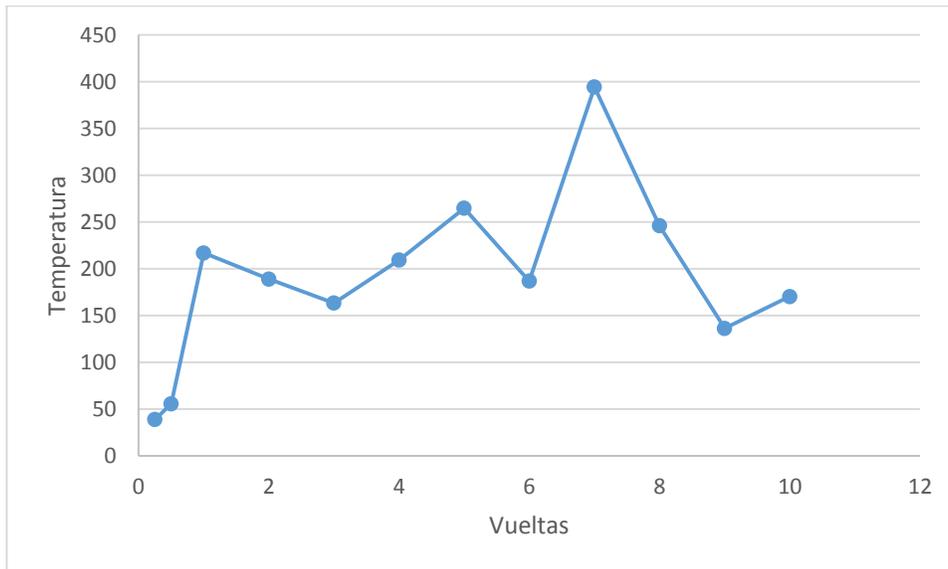
Resultado numérico y gráfico del análisis.



Relación de la temperatura \_ Manteniendo la temperatura incrementando las vueltas.



Relación de la temperatura \_ Mismas vueltas incrementando el tiempo.



Relación de la temperatura \_ incrementando el tiempo y las vueltas.

## Referencias

Budynas, R. G., & Nisbett, J. K. (2015). Clutches, Brakes, Couplings, and Flywheels. En Shigley's Mechanical Engineering Design (pág. 1082). New York, NY: McGraw-Hill Education.

Khurmi, R. S., & Gupta, J. K. (2005). Brakes. En Machine Design (págs. 917-961). NEW DELHI: EURASIA PUBLISHING HOUSE (PVT.) LTD.

KHURMI, R. S., & GUPTA, J. K. (2005). Brakes. En Machine Design (págs. 917-961). NEW DELHI: EURASIA PUBLISHING HOUSE (PVT.) LTD.

Meganeboy, D. (2014). Sistema de Frenos (Disco). (Aficionados a la Mecánica) Obtenido de <http://www.aficionadosalamecanica.net/frenos-3.htm>

Meganeboy, D. (2014). Sistema de Frenos (Tambor). (Aficionados a la Mecánica) Obtenido de <http://www.aficionadosalamecanica.net/frenos-2.htm>