

CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE UN MOTOR ELÉCTRICO DE CORRIENTE ALTERNA UTILIZANDO UN FRENO DE FOUCAULT.

Mechanical characterization of an AC motor using a Foucault electromagnetic brake

RESUMEN

La universidad autónoma de Manizales adquirió un freno de Foucault para la realización de pruebas de laboratorio con el fin de caracterizar un motor eléctrico. Se construyó un módulo para el análisis de fallas en rodamientos por vibración, el freno se acopló al módulo para realizar las pruebas y la adquisición de datos para llegar a las gráficas de torque y potencia contra las revoluciones por minuto del motor.

PALABRAS CLAVES: Freno de Foucault, caracterización, módulo para análisis de fallas en rodamientos por vibración, torque, potencia.

ABSTRACT

The Autonomia university in Manizales acquired a Foucault brake to perform laboratory test to characterize an electrical motor. A module was constructed for the analysis of failures in bearings by vibration; the break was connected to the module to do the tests and capture information to come to the graphics of torque and power against the revolution per minute of the motor.

KEYWORDS: Foucault brake, characterize, module for the analysis of failures in bearings by vibration, torque, power.

CÉSAR AUGUSTO ÁLVAREZ V

Profesor de Ingeniería Mecánica
Universidad Autónoma de
Manizales
Departamento de Mecánica y
Producción
dekinov@autonoma.edu.co

JUAN PABLO MARÍN Q.

Profesor de Ingeniería Mecánica
Universidad Autónoma de
Manizales
Departamento de Mecánica y
Producción
juanpmq@autonoma.edu.co

JUAN CAMILO GONZÁLEZ C.

Estudiante de Ingeniería Mecánica
Grupo de Investigación en Diseño
Mecánico y Desarrollo Industrial
Universidad Autónoma de
Manizales
jcdh88@gmail.com

1. INTRODUCCIÓN

Los frenos constituyen una parte fundamental del diseño y desarrollo de los elementos de máquinas porque son dispositivos capaces de modificar el estado de movimiento de un sistema mecánico y gracias a ellos es posible caracterizar motores eléctricos con el fin de conocer sus especificaciones y estado actual

Los frenos nacen con la necesidad de detener vehículos en movimiento o tal vez con la necesidad de disminuir su velocidad, por lo tanto los primeros dispositivos de frenado debieron ser los elementos de anclaje como los que poseen los barcos.

Cuando la bicicleta apareció alrededor de 1690, la única manera de desacelerar era presionando el zapato sobre la rueda, aunque resultaba muy peligroso y provocaba inestabilidad. Por eso, en 1783 aparece el freno de cuchara que consistía en una palanca que presionaba un bloque de madera contra la llanta.

En 1869 aparece el freno de aire, inventado por George Westinghouse, en este freno el aire mantiene apartados la zapata y el tambor mientras el vehículo está en movimiento.

Posteriormente el francés Luis Renault inventó el freno de expansión interna, que daba un mayor poder de frenado a altas velocidades dando un gran salto tecnológico en el poder de frenado y además utilizado en la actualidad.

En 1890 se empezaron a hacer los ensayos para el diseño de lo que ahora son los frenos de disco.

Los primeros indicios de los frenos para aplicaciones industriales se dan con el freno Prony, inventado por el ingeniero y matemático Gaspard Clair François Marie Riche de Prony, con este freno se buscaba conocer la potencia mecánica real de un motor. Del freno de Prony se derivan otros tipos de dispositivos de frenado como el freno de Foucault que es el objeto de esta investigación.

A nivel industrial la utilización de dispositivos de frenado tienen gran aplicación, ya que permiten conocer la capacidad de trabajo de los equipos que hacen parte de una producción evitando daños en los motores y disminuyendo gastos. Por otra parte en el módulo de análisis de fallas en rodamientos se puede simular efectos que en la industria pasan a diario evitando errores y disminuyendo el proceso productivo.

2. FRENO DE FOUCAULT

Un freno es un dispositivo que permite una conexión por fricción, magnética, hidráulica o mecánica entre dos elementos de máquina, donde uno de los dos elementos gira y el otro es fijo [1].

Los frenos se pueden dividir en varios tipos según su forma de accionamiento, su forma de transferencia de energía y forma de acoplamiento.

Según el tipo de accionamiento pueden ser mecánicos, eléctricos y neumáticos o hidráulicos [1].

Los frenos que son objeto de este estudio son los frenos de accionamiento eléctrico. El freno de Foucault es un freno de accionamiento eléctrico que se encuentra dentro de la familia de los frenos electromagnéticos.

El freno de Foucault es también llamado freno de excitación por corriente continua o freno de Pasquialini.

El freno de Foucault o de Pasquialini es una evolución del freno Prony, que fue el primer dispositivo usado para conocer algunas características de los motores como potencia, torque, etc.

Si bien el principio de funcionamiento de los dos frenos tiene mucha similitud, la diferencia radica en que en el freno Prony el efecto de frenado es por fricción mientras que en el freno de Foucault el efecto de frenado es por inducción de corriente continua.

En el freno Prony se fija un tambor sobre el extremo del eje del motor que gira solidario al eje. En el exterior del tambor se aplica un freno de cinta exterior tensionándolo con un tornillo de forma regulada pero manual, aplicando un esfuerzo de frenada sobre la periferia del tambor como se ilustra en la figura 1.

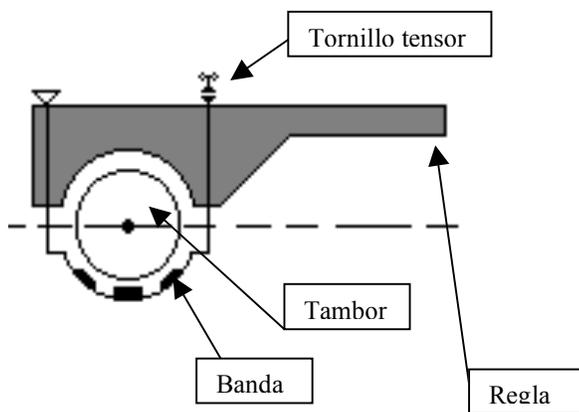


Figura 1. Freno Prony.

Este sistema, está montado flotante y concéntrico al eje del motor, de él se saca una barra lateral sobre la que se cuelgan pesos de valor progresivo en su extremo libre. Por un lado, el par del motor tiende a hacer girar el sistema en su sentido de giro, gracias a la fricción entre el tambor y las zapatas, pero por otro lado, el par que introducen los pesos aplicados por la palanca tienden a hacer girar el sistema en sentido contrario. Cuando el sistema se equilibra y no tiende a girar a ningún lado, el par del motor se iguala al par resistente generado por el freno. Como el par resistente es el producto de un peso

conocido por una distancia conocida, esto indica que el par del motor es el mismo.

El principio de funcionamiento del freno de Foucault está basado en crear corrientes parásitas a través de la excitación por corriente continua, evolucionando el sistema de frenado que le genera la carga al motor.

El método de identificación en el freno de Foucault del torque y de la potencia del motor se puede encontrar de la misma manera que en el freno Prony, con un contrapeso que me indica una distancia conocida y el par resistente aplicado.

2. 1. Corrientes Parásitas

Las corrientes parásitas son aquellas que se crean en cualquier masa metálica y circulan desordenadamente por todo el volumen metálico, debido a esto se les denomina corrientes en torbellino o parásitas.

Las corrientes de Foucault se manifiestan siempre que un material conductor se mueva dentro de un campo magnético, por eso cuando no hay movimiento la energía de las corrientes parásitas dentro del material conductor se pueden convertir en calor, de allí que el movimiento es de gran importancia dentro de la generación de las corrientes de Foucault [4].

Cuando una pieza de metal se mueve en una región en la que existe un campo magnético no uniforme pero constante en el tiempo, se generan corrientes y la energía se disipa en el conductor metálico.

A causa de la disipación de la energía se produce una fuerza de frenado que disminuye la velocidad de la pieza metálica.

2. 2 Componentes del Freno de Foucault

El freno de Foucault se compone principalmente de una carcasa o bastidor flotante, un eje de salida y contactos con dos electroimanes excitados por la corriente continua, que son los que generan el efecto de frenado por excitación de corrientes parásitas al inducir el voltaje adecuado.

El freno tiene unido a la carcasa o bastidor una barra con un contrapeso y un tipo de báscula romana para efectos de la medición como se muestra en la figura 2.

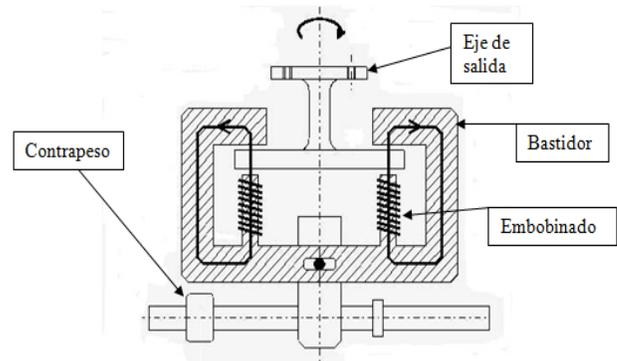


Figura 2. Esquema general del freno de Foucault

Además de los componentes anteriormente mencionados, el freno posee una base que facilita el adecuado acople a cualquier sistema mecánico que lo requiera, así como entradas para corriente continua ilustrado en la Figura 3.



Figura 3. Foto del Freno de Foucault adquirido por la Universidad Autónoma de Manizales.

3. PRUEBAS Y CATALOGO DE FUNCIONAMIENTO

3.1 Especificaciones

El freno posee en la parte superior de la carcasa flotante, una placa con las especificaciones generales para el uso adecuado del freno sin causarle daños.

Se debe tener en cuenta que sobrepasar alguno de estos datos suministrados en la placa puede generar averías en el dispositivo.

Los datos de la placa del dispositivo de frenado son importantes porque proporcionan datos exactos sobre requerimientos máximos de trabajo.

Los datos son:

- MARCA: LEROY SOMER
- TIPO: DRO2
- REVOLUCIONES MÁXIMAS: 1800 rpm
- POTENCIA DE FRENADO: 300 W
- EXCITACIÓN DE CORRIENTE CONTINUA: 24 V Y 1 A

Debido a los pocos datos proporcionados por el fabricante para el adecuado uso del dispositivo de frenado, como los manuales de funcionamiento y datos más explícitos sobre el freno de excitación por corriente continua, se aprendió y reconoció el correcto funcionamiento del freno de Foucault a partir de pruebas y de la toma de datos experimentales realizadas en el módulo para análisis de fallas en rodamientos por vibraciones mostrado en la figura 4.

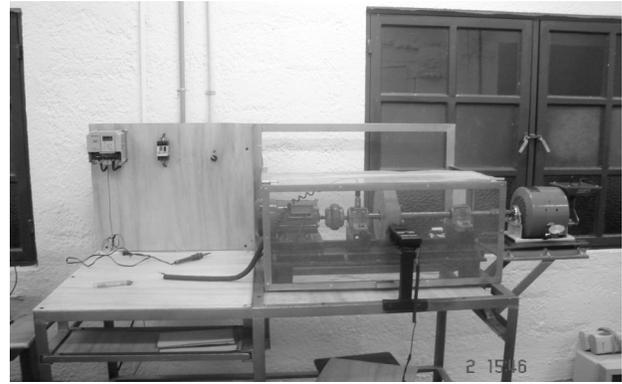


Figura 4. Módulo para análisis de fallas en rodamientos.

3.2. Funcionamiento del Freno de Foucault

El freno funciona a partir de la inducción de corriente continua como anteriormente se había explicado, generando así corrientes de Foucault. Las corrientes de Foucault ayudan a frenar el dispositivo con una potencia de 300W y de esta manera generan un par resistente al motor, con el cual se puede caracterizar cualquier motor que se acople al freno de Foucault.

El freno posee un contrapeso con un brazo mostrados en la figura 5. En el brazo hay una regla para medida de longitud en centímetros, cuando el contrapeso se mueve en la dirección de la regla de medición y el bastidor o cuerpo flotante se equilibra de manera horizontal, tratando de mantener al máximo un ángulo llano, entonces el torque del freno en ese momento se iguala al torque del motor a cierta velocidad, teniendo así el torque del motor en ese punto.

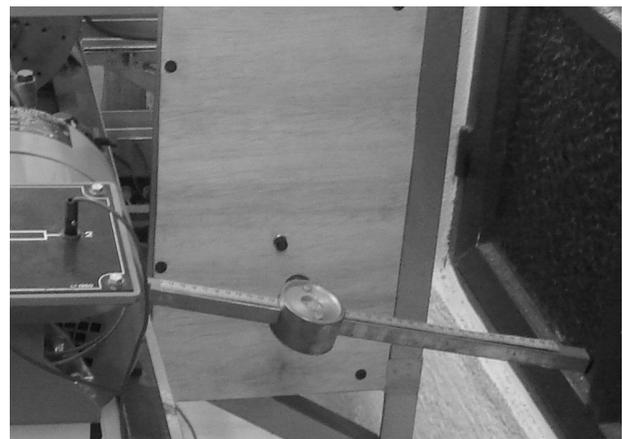


Figura 5. Brazo y contrapeso del freno de Foucault

3.3 Prácticas de Laboratorio con el Freno de Foucault

Cabe mencionar que los datos que se obtengan como resultado de las pruebas realizadas, solo se validan para un estado estable del sistema.

Para la realización de la práctica se deben tener en cuenta entonces los siguientes pasos:

- Encender el módulo para análisis de fallas en rodamientos.

- Verificar la frecuencia actual del variador de velocidades y ajustar el variador a una frecuencia baja para iniciar de forma secuencial la toma de datos.
- Presionar el botón "RUN" del variador de velocidades para poner en marcha el sistema en la frecuencia elegida.
- Teniendo el motor en una baja frecuencia se debe encender el freno.
- A cierta frecuencia (aproximadamente 12Hz) y con el freno encendido, se debe notar un desnivel en el brazo que posee el freno.
- El brazo posee un contrapeso que se puede ajustar de manera deslizante, de esta manera se debe ubicar el contrapeso a través del brazo hasta que se nivele el brazo formando un ángulo llano.
- El contrapeso posee una mirilla en la que se puede observar claramente la longitud en la que se encuentra el contrapeso en ese momento y a la frecuencia del motor introducida por la persona que opera el sistema.
- Así consecutivamente y ejecutando los pasos anteriormente mencionados se debe aumentar gradualmente la frecuencia del motor y tomando los datos de la longitud a la que se encuentra el contrapeso en el brazo del freno.
- El módulo posee un tacómetro en el que se puede observar claramente la velocidad angular del motor en determinada frecuencia.
- Así cuando se tome el dato de la longitud a la cual se encuentra el contrapeso en el brazo cuando se nivela a 180°, también se debe tomar la velocidad angular del motor a esa misma frecuencia y se deben tabular a medida que se aumenta la frecuencia, hasta llegar a la frecuencia máxima del motor que corresponde a 60Hz.

Teniendo los datos tabulados correspondientes a frecuencia, brazo y velocidad angular, entran a jugar conceptos como los de torque y potencia, donde:

Torque: $T = F \times L$ dado en [N·m]. (1)

Donde T = Torque.

F = Fuerza ($9,81 \text{ m/s}^2 * M$).

M = Masa del contrapeso (0,4536Kg).

L = Longitud de la ubicación del contrapeso en el brazo del freno.

Potencia: $P = T \times n \times \frac{2\pi}{60}$ dado en [W]. (2)

Donde P = Potencia

T = Torque

n = Velocidad angular en [rpm]

graficar T vs n o también P vs n para conocer las graficas de comportamiento del motor.

4. OBTENCIÓN DE DATOS

Teniendo en cuenta que el procedimiento de adquisición de datos es un proceso poco preciso, debido a que depende en mucho del criterio de quien opera el sistema, ya que la nivelación del brazo en 180° no tiene una referencia que estandarice el proceso, se realizaron tres pruebas, de los cuales se tabularon de forma definitiva los valores correspondientes al promedio de ellos.

La siguiente tabla contiene los datos obtenidos de frecuencia del motor, longitud de brazo de la regla de medición del freno y la velocidad angular del freno obtenida gracias al tacómetro del módulo de análisis de fallas en rodamientos por vibración, de allí se hallaron los datos de torque y potencia.

Frecuencia (Hz)	Brazo (m)	Velocidad Angular (rpm)
12	0,1523	340
14	0,1626	397,23
16	0,1723	453,55
18	0,1823	512,66
20	0,1896	564,23
22	0,196	624,33
24	0,207	681,93
26	0,2156	736,80
28	0,2236	794,72
30	0,2306	851,43
32	0,237	907,03
34	0,2426	963,67
36	0,2473	1021,06
38	0,2533	1077,03
40	0,2603	1132,44
42	0,2656	1189,33
44	0,271	1246,8
46	0,273	1302,22
48	0,281	1364,23
50	0,2856	1418,33
52	0,2873	1474,57
54	0,2936	1532,38
56	0,298	1585,8
58	0,2986	1642,88
60	0,301	1700

Tabla 1. Tabla de datos de torque y potencia hallados con las fórmulas en la primera prueba.

Con los datos tabulados y con la aplicación de las fórmulas de torque y potencia se puede proceder a

Torque (N·m)	Potencia (W)
0,6778	24,14
0,7238	30,11
0,7668	36,42
0,8113	43,56
0,8440	49,87
0,8721	57,02
0,9211	65,78
0,9597	74,05
0,9953	82,83
1,0262	91,51
1,0545	100,17
1,0797	108,96
1,1007	117,70
1,1273	127,15
1,1584	137,38
1,1822	147,24
1,2059	157,45
1,2148	165,66
1,2504	178,63
1,2712	188,81
1,2786	197,43
1,3067	209,70
1,3260	220,21
1,3290	228,65
1,3394	238,45

Tabla 8. Tabla de datos de torque y potencia hallados con las fórmulas, como resultado del promedio de las tres pruebas.

5. OBTENCIÓN DE GRÁFICAS

De los siguientes datos y con la ayuda de Excel se sacaron las graficas de Torque vs Velocidad Angular y de Potencia vs Velocidad Angular.

Las siguientes son las gráficas de torque y potencia que caracterizan el motor eléctrico que funciona en el módulo de análisis de fallas en rodamientos

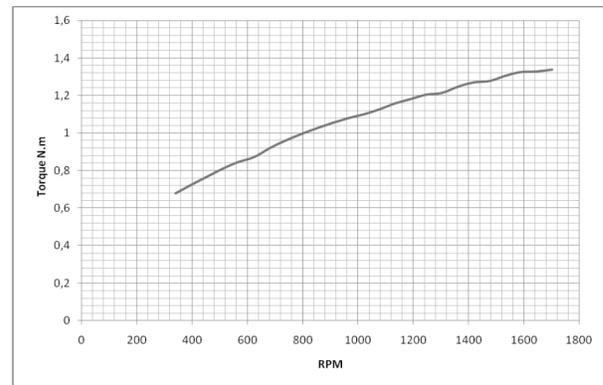


Figura 6. Gráfica de Torque vs Velocidad angular

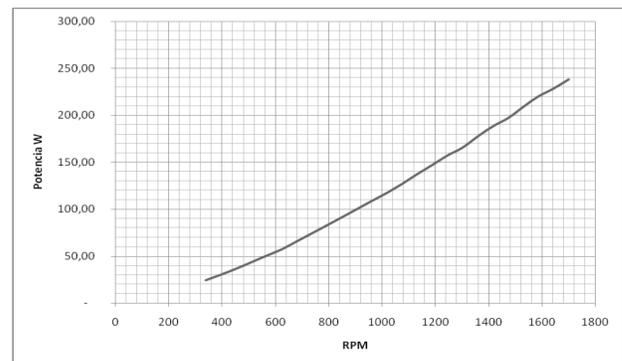


Figura 7. Gráfico de Potencia vs Velocidad angular

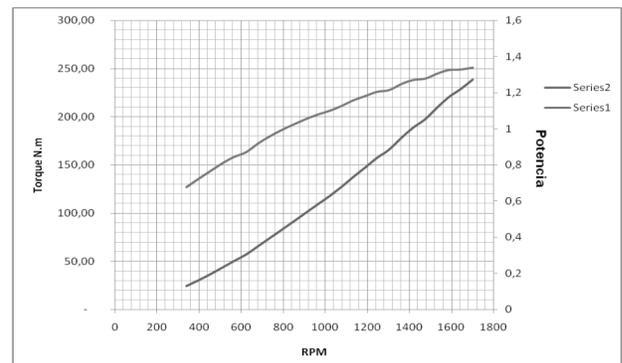


Figura 8. Gráfica de torque vs rpm vs potencia.

Series1 Torque
Series2 Potencia

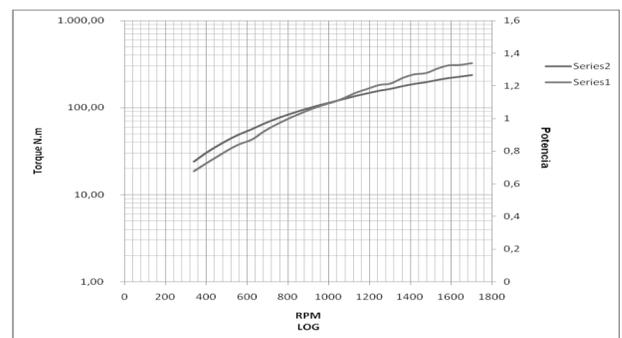


Figura 9. Gráfica de torque vs rpm vs potencia en escala logarítmica

Series1 Torque
Series2 Potencia

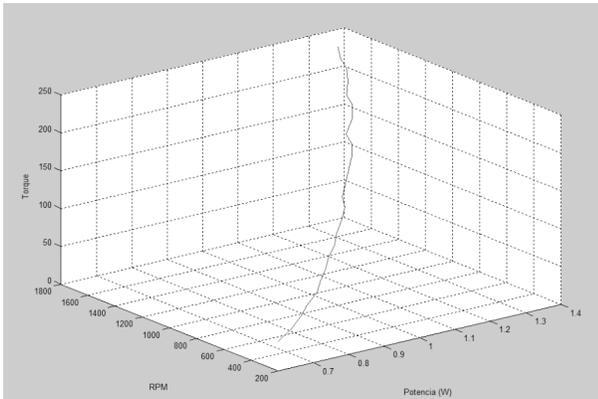


Figura 10. Gráfica parametrizada de torque vs rpm vs potencia.

6. CONCLUSIONES

Como conclusión de este trabajo, los dispositivos de frenado no solo tienen importancia en el ámbito automotriz, aéreo o naval; industrialmente tienen un campo de aplicación grande como en máquinas herramientas y equipos aplicados a la industria. La caracterización de motores eléctricos arroja datos confiables en equipos que poseen un tiempo de servicio prudente ya que permite conocer su estado actual, con la caracterización se pueden conocer nuevos datos sobre los motores y corroborar algunos otros datos como que en un motor eléctrico a mayor torque mayor será su potencia también la potencia en un motor eléctrico depende directamente del torque y de la velocidad angular y la frecuencia de trabajo del motor y la velocidad angular son directamente proporcionales. Por último para validar la información que proporcionan los datos obtenidos en las pruebas y con la ayuda de la estadística, se realizaron regresiones de varios tipos y la regresión que más se ajusta a los datos tabulados en el módulo para análisis de fallas en rodamientos es la regresión a la cuarta potencia, con lo cual se verifica la autenticidad de los datos obtenidos.

7. BIBLIOGRAFÍA

- [1] NORTON, Robert L. Diseño de Máquinas, México, 1999. P 959.
- [2] NORTON, Robert L. Diseño de Máquinas, México, 1999. P 959.
- [3] ENTREVISTA con Lina Rocío Osorio, Ingeniera Industrial, Manizales, 10 de Marzo de 2007
- [4] WILDI, Theodore. Máquinas eléctricas y sistemas de potencia. México: Pearson. 2007. 960p
- [5] SPIEGEL, Murray R. Estadística. 2 ed. Madrid: McGraw-Hill, 1998.