



CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES

COMUNICACIÓN

Freno de corrientes parásitas para ensayo de motores eléctricos

Gallo, Omar D.; Gonella, Rubén M. J.; Ferreyra, Diego M.; Díaz, Alberto J.

Resumen

Este trabajo trata distintos aspectos referidos al diseño, construcción y puesta en marcha de un freno dinamométrico de corrientes parásitas, destinado al ensayo de motores eléctricos. La introducción aborda los antecedentes y las experiencias previas con máquinas similares, además de precisiones constructivas sobre el freno y su fuente de alimentación. La sección de ensayos describe los valores de temperaturas de bobinas y discos y las pruebas bajo estados de carga. Los parámetros tales como fuerzas magnetomotrices, corrientes en discos, momentos y pérdidas, se calculan en la sección referida a valores de funcionamiento. Finalmente, en las conclusiones, se abordan las ventajas y desventajas de este tipo constructivo, y las mejoras que deberían realizarse para mejorar el desempeño de la máquina.

Palabras clave: corrientes parásitas; freno para motores eléctricos; prueba de motores

Este trabajo corresponde a un desarrollo y construcción realizados en el CIDEME para utilizar en pruebas de motores eléctricos de satélites espaciales, controlados electrónicamente. Presentado el 08/12/2015 y admitido el 19/09/2016

AUTORES: Grupo Cálculo e Investigación, Desarrollo y Ensayo de Máquinas Eléctricas (CIDEME) Universidad Tecnológica Nacional (UTN) Facultad Regional San Francisco, Córdoba, Argentina.

CONTACTO: odgallo@gmail.com



Eddy – current dynamometer for electric motor testing

Abstract

This work deals with different aspects regarding the construction and commissioning for an eddy-current dynamometer designed to test electric motors. In the introduction, the background and previous experiences with similar machinery are described. Afterwards, specific constructive details are given on the dynamometer and its power supply. In the section on testing, the temperatures of both coils and discs are given, and tests at different loads are described. Operating parameters such as magnetomotive forces, currents in the discs, torques and losses are calculated in the section on operating values. Finally, in the conclusions, the advantages and disadvantages of this design are discussed, as well as the upgrades to be carried out for the equipment performance to improve.

Keywords: eddy currents, dynamometer for electric motors; motor testing

Freio de correntes parasitárias para ensaio de motores elétricos

Resumo

Este trabalho trata diversos aspectos relacionados ao desenho, construção e implementação de um freio dinamométrico de correntes parasitas, destinado a testar motores elétricos. A introdução aborda os antecedentes e as experiências anteriores com máquinas semelhantes, bem como detalhes construtivos do freio e sua fonte de alimentação. A seção de ensaios descreve os valores de temperaturas de bobinas e discos e os testes sob estados de carga. Parâmetros como força magnetomotriz, correntes em discos, momentos e perdas, são calculados na seção relativa aos valores de funcionamento. Finalmente, nas conclusões, são abordadas as vantagens e desvantagens desse tipo construtivo, e as mudanças que deveriam ser feitas para melhorar o desempenho da máquina.

Palavras-chave: correntes de Foucault; freio para motores elétricos; teste de motores

I. Introducción

Este modelo de freno dinamométrico, para prueba de pequeños motores eléctricos asincrónicos de hasta 4 kW y 4500 r/min , es un equipo sencillo que difiere de los frenos comerciales (Saenz, 2015; MAGTROL, 2015), porque no requiere instalaciones de refrigeración forzada, se adapta a las especificaciones planteadas inicialmente por el comprador y su costo de fabricación y mantenimiento es menor.

Los principios de funcionamiento aplicados en el desarrollo de esta máquina, llamada también freno de corrientes parásitas, son ampliamente conocidos (Muller, 1984; Gallo, 2013; Muñoz Arranz, 2008); consisten en aprovechar el momento resistente que se produce en un disco conductor de aluminio cuando gira dentro de un campo electromagnético variable de corriente continua (CC).

El eje del motor por probar se acopla al del dinamómetro (**fig. 1**) que, solidario a los discos de aluminio, origina un momento resistente al giro (par de frenado), reproduciendo así a voluntad las condiciones de funcionamiento de aquel. Se obtiene dicho momento resistente como el producto entre la fuerza indicada en la balanza y la longitud del brazo de palanca.

Por más que este aparato no está automatizado, reúne aptitudes que lo hacen especialmente adecuado para realizar ensayos no seriados, como los que puede necesitar un fabricante que aplique unos pocos motores, confiables y probados, en equipos de mayor envergadura.

II. Criterios de desarrollo

El modelo constructivo general es similar al de otros frenos dinamométricos no comerciales usados normalmente en un laboratorio de servicios de la Universidad Tecnológica Nacional (UTN).

Para el diseño, construcción y prueba de este dinamómetro, de mayor capacidad que los mencionados, fue necesario cumplimentar etapas que son tradicionales en este tipo de trabajos:

- Relevar mecánica y eléctricamente una de las máquinas que están en funcionamiento y calcular sus parámetros básicos de marcha nominal, tales como a) fuerzas magnetomotrices, b) densidades de corriente, c) pérdidas de excitación, d) flujos y densidades de flujo y e) pérdidas en los discos de aluminio, entre otros.
- Decidir, preliminarmente, la conservación del sistema natural de refrigeración en el nuevo modelo, por razones de sencillez y costo; esto

originó la necesidad de ampliar la cantidad de material activo. Sin embargo, se previó la posibilidad de agregar, en caso de necesidad, un sistema de refrigeración forzada.

- Calcular preliminarmente los valores de los parámetros nominales para la mayor potencia requerida (4 kW , 4500 r/min) y establecer las nuevas dimensiones y materiales a usar.
- Realizar los planos electromecánicos y supervisar la construcción.
- Preparar el equipo para la puesta en marcha y completar las pruebas de funcionamiento.
- Realizar los cálculos finales, que aquí se exponen, una vez satisfechas las pruebas de funcionamiento.
- Realizar los ajustes finales, a los fines de cumplir con las especificaciones fijadas.

Este proceso de diseño produjo innovaciones, ampliaciones y rediseños particulares en el freno construido, tales como:

- Incremento de dimensiones mecánicas generales, a los fines de adaptar el equipo a las mayores tamaños de los motores a probar.
- Mejoras constructivas en la mesada de regulación de altura de motor y el sistema de bloqueo del eje (**fig. 1, punto 3**), para lograr un mecanismo seguro que permita acoplar diferentes motores.
- Aumento de diámetro y espesor de los discos de frenado (**fig. 1, punto 5**), con el objeto de mejorar la capacidad térmica y la resistencia mecánica.
- Cambio del número de espiras y diámetro del conductor de cobre del bobinado de excitación (**fig. 3**), a los fines de incrementar fuerzas magnetomotrices y reducir densidades de corriente.
- Modificación del circuito magnético (**fig. 3**), aumentado sus superficies activas y volúmenes.
- Redimensionamiento de la fuente de alimentación de las bobinas, para control del campo magnético, usando tensión de CC de variación electrónica, que constituye un sistema muy efectivo en cuanto a regulación de carga.

III. Aspectos constructivos

En la **figura 1**, se muestra el freno dinamométrico de doble disco construido y se indican algunos de sus componentes básicos.

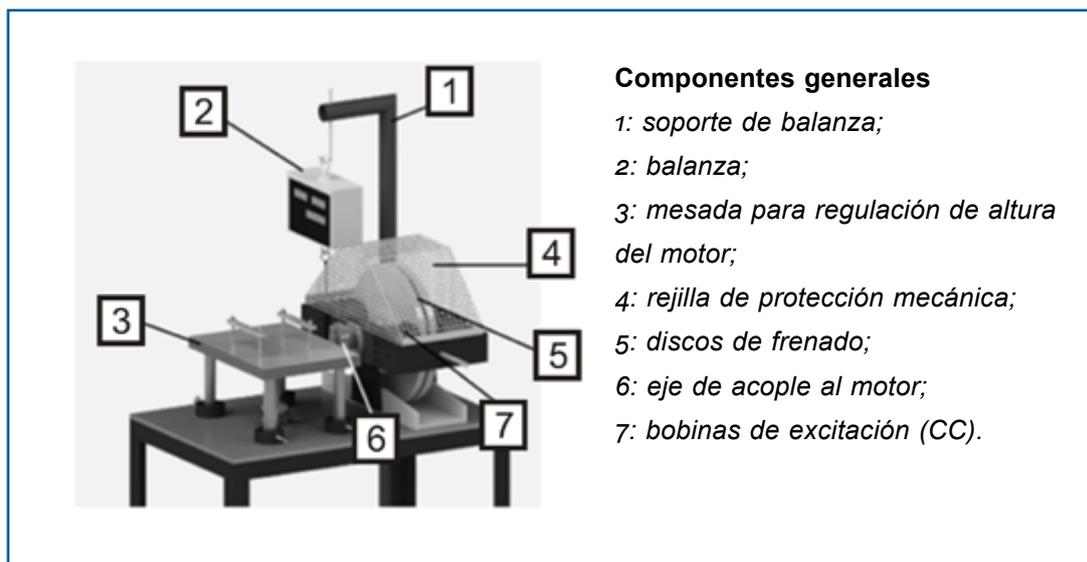


FIGURA 1. Vista lateral del freno

En esta figura, puede verse que la estructura que soporta a los discos de frenado y la mesada de regulación de altura están sujetos a una base con patas de acero soldado que es lo suficientemente pesada y que debe fijarse sólidamente a un piso firme de cemento a fin de amortiguar las vibraciones normales que se producen durante la marcha del motor ensayado.

Por las mismas razones, la mesada de regulación de altura del motor también resulta de gran robustez, y está provista de tornillos de anclaje para evitar su movimiento una vez ubicada en su posición.

Las dimensiones y sujeciones mecánicas surgen de adaptar las de las máquinas ya construidas a las de los motores que se probarán.

Como se observara anteriormente, en condiciones normales los discos de frenado y las bobinas de excitación funcionan con refrigeración natural pero, si se supera la potencia nominal, puede ser necesaria una refrigeración forzada.

La balanza es estándar y digital, del tipo de colgar y dispone de un puerto de salida para conexión a PC; el soporte que la sostiene es robusto y separado del freno. Para medir velocidad, se usa un tacómetro de reflexión convencional, también con salida para PC.

El entrehierro entre partes fijas y rotantes es de la menor longitud posible, a fin de evitar posibles roces entre los discos y las expansiones polares, producidas principalmente por las deformaciones térmicas.

En cuanto a la alimentación de cc de las bobinas, se usa –en reemplazo del autotransformador de variación mecánica y el puente rectificador de los

modelos tradicionales– una fuente electrónica monofásica regulable a voluntad mediante un potenciómetro multivoltajes, sin transformador.

IV. Pruebas de funcionamiento

La expresión para obtener la potencia en este freno de doble disco deriva de aquella que expresa una potencia en un eje giratorio, proporcional a la fuerza desarrollada, el brazo de palanca y la velocidad angular:

$$P = C \cdot \omega = 0,37 F \cdot n \quad (W) \quad (1)$$

Donde P (W) es la potencia entregada por el motor en el eje, C (N·m) es el par o momento, ω (1/s) la velocidad angular, F (daN) es la fuerza indicada por la balanza, y n (r/min), la velocidad de giro del eje.

Los ensayos de fabricación y puesta a punto consistieron, luego de varias pruebas y ajustes preliminares, en verificar el adecuado comportamiento electromagnético, térmico y mecánico del equipo, a los fines de localizar las posibles fallas durante su funcionamiento y minimizarlas en un posterior ajuste. Dichos ensayos, basados en el conocimiento de la capacidad del freno y de las máquinas que en él se probarían, se realizaron respetando los siguientes criterios:

- a. *Ensayo a velocidades y potencias ascendentes en frío:* Se fijaron velocidades ascendentes, desde aproximadamente 750 r/min hasta 4500 r/min, que es la franja más empleada de velocidades en la industria. Para cada velocidad, se aplicaron tres momentos en orden creciente, a los fines de aumentar la potencia del eje (desde 885 W en 760 r/min hasta 3273 W en 4500 r/min). Estos tres momentos se eligieron de manera tal que, al generarlos, no se superara la corriente nominal de la bobina de excitación.
- b. *Evaluación del comportamiento térmico:* se consideró suficiente registrar y evaluar las temperaturas de los componentes críticos luego de realizar una prueba de estabilización y obtener las sobretemperaturas de las bobinas.
- c. *Evaluación del comportamiento mecánico:* En paralelo con las pruebas, se evaluó el comportamiento mecánico del equipo.

Seguidamente se exponen los valores obtenidos de los ensayos y las conclusiones a las que se arribaron posteriormente.

a) Ensayo a velocidades y potencias ascendentes en frío (Fig. 2)

La **fig. 2** muestra las curvas de fuerza producida en el eje del dinamómetro en función de su corriente de excitación. Para obtenerlas, se usó lo siguiente equipamiento:

- Motor: Marca WEG, tamaño 100L, 3 kW, 2870 r/min, 220/380 V, 11/6,4 A, fdp 0,87, aislación clase F, servicio S1, IP55.
- Convertidor de frecuencia: Marca WEG, modelo CFWo8, 380-480 V, 29 A, 50/60 Hz.
- Instrumental de medición calibrado de laboratorio: analizador de potencia 600 V, 5 A, clase 0,2, multímetro estándar, ohmímetro puente 2 mΩ – 200 mΩ, termómetro digital de 600 °C y analizador de vibraciones.

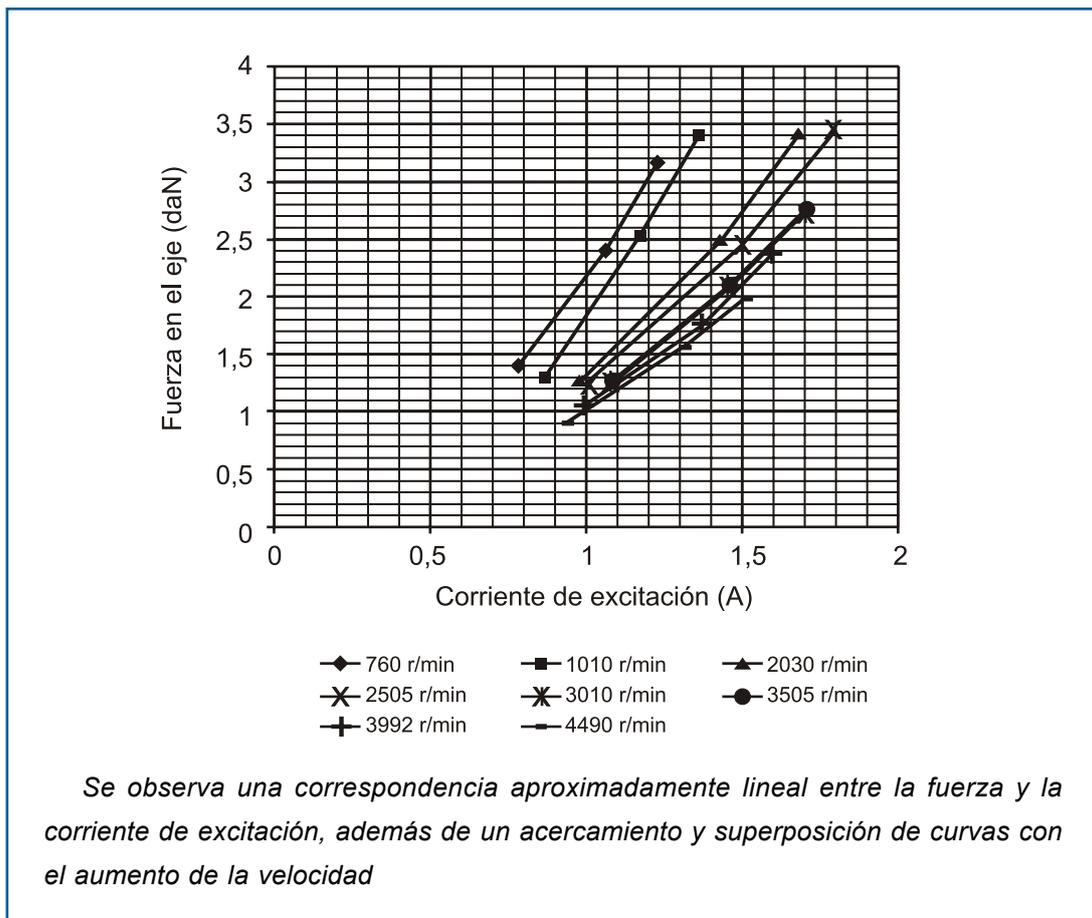


FIGURA 2. Curvas de respuesta a distintas velocidades

Las curvas se obtuvieron, luego de pruebas preliminares, aplicando el criterio indicado en a); los límites mínimos fueron determinados por la capacidad de medición de los instrumentos y los máximos por la corriente admisible en las bobinas del freno.

Debe aclararse que la desviación de valores de momentos y velocidades se debe a que los controles del freno y del convertidor de frecuencia se accionaron manualmente, y resultó imposible lograr mejores aproximaciones.

La aproximada linealidad entre las magnitudes es debida a la débil saturación del circuito magnético, que tiene grandes entrehierros; otra característica típica es que la misma fuerza requiere distintas –aunque muy cercanas– corrientes de excitación, que tienden a crecer con la velocidad del eje.

Esta respuesta electromagnética del equipo estuvo en el marco de lo esperado; al mismo tiempo, se comprobó que el comportamiento mecánico (básicamente vibraciones y mantenimiento de sujeciones) fue satisfactorio.

b) Solicitaciones térmicas a potencia promedio (Tablas 1 y 2)

Realizados los ensayos indicados en el párrafo anterior, se exigió al equipo con una carga promedio constante que no exceda la potencia del motor usado para la prueba (3 kW), a la velocidad nominal (cerca a 4500 r/min), durante 2 horas, hasta su estabilización térmica; se registraron –entre otros– los valores de temperatura promedio de los discos cada 30 minutos (**tabla 1**), manteniendo aproximadamente constante la corriente de excitación en las bobinas.

TABLA 1. Marcha de estabilización térmica a potencia promedio 2818 W, 4561 r/min

Hora	09:30	10:00	10:30	11:00	11:30
Temperatura (promedio) discos (°C)	36	44	45	45	45
Potencia eje (W)	2740	2753	2719	2753	2818
Velocidad eje (r/min)	4572	4564	4564	4563	4561
Fuerza (daN)	1,62	1,63	1,61	1,63	1,67
Corriente continua en las bobinas (A)	1,33	1,35	1,34	1,35	1,36

Al momento de la estabilización térmica, se tomaron los valores finales y se midieron resistencias óhmicas de las bobinas de excitación en caliente para la obtención de sus sobretemperaturas (temperaturas por sobre el ambiente, **tabla 2**).

TABLA 2. Valores de estabilización térmica de bobinas y discos 2818 W, 4561 r/min

Resistencia de las bobinas del freno en frío/caliente (Ω)	99,8/123,7
Temperatura ambiente en frío/caliente ($^{\circ}\text{C}$)	13,2/19,7
Conexión de las bobinas	Serie-paralelo
Intensidad aproximada de corriente (A)	1,36
Tiempo de estabilización térmica (horas)	2,00
Temperatura promedio de los discos de aluminio ($^{\circ}\text{C}$)	45,0
Sobrettemperatura de las bobinas (K)	52,9

Las temperaturas registradas luego de estas pruebas alcanzaron los valores previstos. Se estima que, en funcionamiento normal, no serán un factor causante de envejecimiento o falla prematuros; la sobrettemperatura de las bobinas se encuentra muy por debajo del límite térmico (125 K) de sus aislantes, que son de *clase H*. La temperatura de los discos es baja, comparándola con los $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ máximos prefijados.

Extrapolando estos resultados, se concluyó que el comportamiento térmico del equipo será aceptable a sus condiciones de máxima exigencia (4 kW , 4500 r/min).

c) Evaluación del comportamiento mecánico

Si bien hubo algunos aflojamientos menores –lógicos dentro de lo esperable– en la tornillería, el nivel de vibraciones se elevó con la velocidad pero sin exceder los valores admisibles. Finalmente, se consideró que el equipo respondió satisfactoriamente a las pruebas mecánicas de funcionamiento y no presentaría inconvenientes a carga nominal.

V. Cálculo final de valores de funcionamiento

El cálculo final que se expone a continuación es de verificación de densidades, a partir de los valores de funcionamiento (tomados de las **tablas 1 y 2**), de los elementos de la **figura 3**, en la que se muestra una vista en corte de los componentes del circuito magnético que producen el campo principal y una lateral de los discos de aluminio sobre los que se inducen las fuerzas generadoras del momento resistente del freno.

La **tabla 3** indica, más allá de los mencionados datos de funcionamiento, los constructivos del freno, tales como longitudes, diámetros, cantidades de espiras, resistencias óhmicas, corrientes, además de valores físicos típicos como resistividades y permeabilidades.

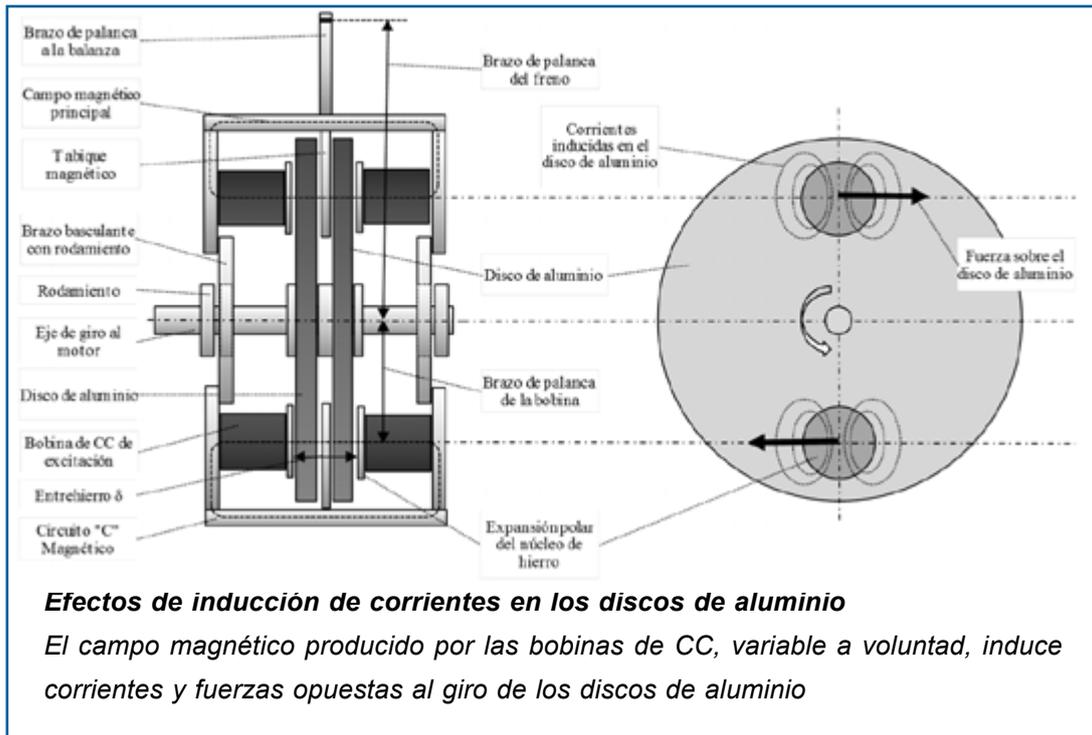


FIGURA 3. Vista de componentes del freno

TABLA 3. Valores constructivos y físicos tomados para el cálculo

Parámetro		Valor
Potencia indicada del motor ensayado, P_{mot}	W	2818
Velocidad del motor ensayado, n_{mot}	r/min	4561
Permeabilidad del aire, μ_o	H/m	$4\pi \cdot 10^{-7}$
Longitud del entrehierro, δ	mm	55
Cantidad de espiras de cada bobina, N		5400
Diámetro del alambre de las bobinas, d_{cu}	mm	0,60
Corriente de bobinas del freno, I_{fre}	A	1,36
Resistencia en caliente de las bobinas, R_b	Ω	123,7
Sección del núcleo de hierro de bobinas, S_n	m^2	0,038
Diámetro de la expansión polar, d_{ep}	mm	70
Sección de la «C» del circuito magnético, S_c	m^2	0,0015
Longitud del brazo de palanca del freno, b_{fre}	m	0,358
Longitud del brazo de palanca de la bobina, b_b	m	0,135

La tabla continúa en página siguiente >>>

Longitud estimada circuito de corriente en el disco, l_{id} <i>Se estima igual a 1,5 diámetros de la expansión polar del núcleo de hierro de la bobina, como una condición límite, el resto de la longitud del circuito no se considera porque el área de pasaje de corriente es muy grande y su aporte a la resistencia es insignificante.</i>	mm	105
Espesor de cada disco de aluminio, e_d	mm	21
Resistividad del aluminio del disco a 25°C, ρ_d <i>Se considera despreciable el aumento de resistividad con la temperatura</i>	$\Omega \cdot mm^2/m$	0,028

Los datos de la **tabla 3** conducen al cálculo básico de densidades en los circuitos eléctricos de las bobinas (**tabla 4**) y los discos de aluminio (**tabla 6**) y en el circuito magnético (**tabla 5**) cuyos valores serán comparados oportunamente con los de otras máquinas en funcionamiento.

Este proceso se presenta aquí a la manera de *planilla de cálculo*, como se suele usar en el ámbito industrial. Las líneas sombreadas resaltan las densidades requeridas.

TABLA 4. Cálculo de densidades en las bobinas de excitación

Sección del alambre de cobre de las bobinas, S_{cu}	$\pi d_{cu}^2 / 4$	0,28 mm ² (2)
Corriente por cada bobina (en serie paralelo), I_b	$I_{fre} / 2$	0,68 A (3)
Densidad de corriente en el alambre de cobre, σ_{cu}	I_b / S_{cu}	2,43 A/mm ² (4)

TABLA 5. Cálculo de densidades en el circuito magnético

Intensidad de campo en el entrehierro, H_{eh}	$2 N \cdot I_b / \delta$	133527 A/m (5)
Densidad de flujo en el entrehierro, B_{eh} <i>Corresponde al campo magnético principal. No se considera el efecto de bordes en las expansiones polares.</i>	$\mu_o \cdot H_{eh}$	0,168 T (6)
Flujo principal, Φ_p	$B_{eh} \cdot S_n$	6,45 · 10 ⁻⁴ Wb (7)
Densidad de flujo en la «C» magnética, B_{eh}	Φ_p / S_c	0,432 T (8)

TABLA 6. Cálculo de densidades en los discos de aluminio

Momento del freno para 2818 W, 4561 r/min, M_{fre}	$60 P_{mot} / (2\pi \cdot n_{mot})$	5,90 N·m (9)
Fuerza por par de bobinas, F_b	$M_{fre} / 2b_b$	21,9 N (10)
Corriente en discos de aluminio, por par de bobinas, I_d <i>Se estima que esta será la máxima corriente, para una longitud límite mínima del circuito</i>	$F_b / (B_{eh} \cdot l_{id})$	1862 A (11)
Densidad de corriente en cada disco de aluminio, σ_d <i>Se considera que la corriente circula en un área delimitada por el diámetro de las expansiones polares</i>	$I_d / (2 l_{id} \cdot e_d)$	0,63 A / mm ² (12)

Finalmente, se obtienen las pérdidas eléctricas aproximadas (**tabla 7**), con el objeto de evaluar la diferencia entre potencias de entrada y salida del equipo y eventualmente trasladarlas al eje del motor.

TABLA 7. Cálculo aproximado de pérdidas

Parámetro	Expresión	Valor
Pérdidas en las bobinas, P_b	$R_b \cdot I_{fre}^2$	229 W (13)
Resistencia del circuito de corriente del disco, R_d <i>Se estima que el área y la longitud resistiva están determinadas por el diámetro de la expansión polar</i>	$\rho_d \cdot l_{id} / e_d \cdot d_{ep}$	$2,0 \times 10^{-6} \Omega$ (14)
Pérdidas en los discos de aluminio, P_d <i>Valor aproximado, obtenido a partir de las diversas simplificaciones y estimaciones aclaradas anteriormente y sin considerar las variaciones de resistencia con la temperatura</i>	$4R_d \cdot (I_d / 2)^2$	6,93 W (15)
Pérdidas totales aproximadas	$P_b + P_d$	236 W (16)

VI. Conclusiones y proyecciones

Seguidamente se realiza el análisis de algunos de los valores obtenidos por cálculo y se los compara con otros datos rescatados de la práctica, que even-

tualmente se tendrán en cuenta cuando se calculen y/o construyan otras máquinas similares.

La *densidad de corriente* en el alambre de cobre, $2,43 A/mm^2$, *ecuación (4)*, resultó de un valor razonable (normales: entre 2 y $7 A/mm^2$) (Gallo, Gallo, 2015) para estos niveles de trabajo de la máquina, las condiciones de refrigeración natural y el tipo de *aislación H* de los conductores. Sin embargo, a mayores valores de potencia, el incremento de las corrientes en dichas bobinas probablemente requeriría anexar refrigeración forzada para tiempos de trabajo de varias horas. Este es un parámetro crítico que en futuras construcciones es necesario calcular con suficiente holgura, ya que el excesivo calentamiento ocasiona inestabilidad en la marcha del equipo.

La *densidad de flujo* en el entrehierro, $0,168 T$, *ecuación (6)*, fue de un valor muy reducido respecto a los que se usan en otros aparatos eléctricos ($0,6-0,8 T$) (Gallo, Gallo, 2015) (Corrales Martín, 1976; Crisci, 1947); esto se debe a la gran extensión –necesaria– del entrehierro y limita notablemente la capacidad del freno. Para lograr mayores excitaciones, se requeriría un tipo de construcción del circuito magnético diferente, tal vez más compleja y onerosa.

Las elevadas corrientes en los discos enfrentados a cada bobina, $1862 A$, *ecuación (11)*, produjeron una reducida *densidad de corriente*, $0,63 A/mm^2$, *ecuación (12)*, y bajas pérdidas, $6,93 W$, *ecuación (15)*, lo cual no significaría sobreelevaciones importantes de temperatura, ni aún en potencias medianamente importantes. Por lo tanto, estos valores podrían tomarse como referencia para otros diseños.

La mayor cantidad de pérdidas se originó en el cobre de las bobinas, $229 W$, *ecuación (13)*; sumadas estas a las pérdidas en los discos, *ecuación (15)* y despreciando las pérdidas mecánicas, produjeron un rendimiento del equipo cercano al 92% en esta condición de marcha ($2818 W$). Dicho porcentaje es razonable, comparándolo con otras máquinas eléctricas rotativas (WEG, 2015; CEMER, 2015). No se incluyen en este estudio los cálculos de rendimiento para otros estados de carga.

Por otra parte, cabe aclarar que debido a la particularidad de este equipo y a la prioridad de obtener solamente los valores generales de funcionamiento, no se realizaron estudios estadísticos.

Finalmente, en caso de desarrollar otros frenos de mayores potencias en el futuro, se requerirá, además de tomar en cuenta los datos de este trabajo, realizar diversos ajustes: mejorar algunos aspectos en el diseño mecánico (el uso de diferentes rodamientos y el bloqueo axial de ellos en su posición, las alineaciones en general y la exactitud en las sujeciones), como así también

optimizar el diseño del circuito magnético y sus bobinas de excitación, sin olvidar la eventual inclusión de un sistema de refrigeración eficiente.

Referencias bibliográficas

- CEMER (2015). *Motores asíncronos trifásicos clase de eficiencia según IEC 60034-30*. Disponible en: <http://www.sgtransmisiones.com/info/pdf/cemer.pdf> [14 Julio 2015].
- CORRALES MARTIN, J. (1976). *Cálculo Industrial de Máquinas Eléctricas*. Tomo II, pp. 380-394. España: Ed. Universidad Politécnica de Barcelona.
- CRISCI, G. (1947). *Costruzione, Schemi e Calcolo degli Avvolgimenti delle Macchine Elettriche Rotanti*. pp. 675-815. Italia: Ed. STFM Mucchi.
- GALLO, O. D. (2013). *Acoplamiento de alto deslizamiento con imanes anulares para prueba de motores eléctricos*. Revista Ciencia, Docencia y Tecnología, Vol. xxiv, n.º 47, Universidad Nacional de Entre Ríos, Argentina. Disponible en: http://www.revistacdyt.uner.edu.ar/spanish/cdt_47/resumenes_cdt_47.htm#10 [14 Julio 2015].
- GALLO, O. D.; GALLO, J. A. (2012). *Programa de gestión de bobinados (ProGeBo)*. Grupo CIDEME, Universidad Tecnológica Nacional, San Francisco, Córdoba, Argentina. Disponible en: www.progebo.com, sección ayuda, cálculo de bobinado [14 Julio 2015].
- MAGTROL (2015). *Motor test equipment*. USA, Switzerland. Disponible en: <http://www.magtrol.com/> [14 Julio 2015].
- MULLER, W. (1984). *Electrotecnia de Potencia. Cap. 4: Máquinas Eléctricas Rotatorias*. Disponible en: <https://books.google.com.ar/books?isbn=8429134557> [14 Julio 2015].
- MUÑOZ ARRANZ, M. (2008). *Implementación y estudio de un sistema de frenado regenerativo: Aplicación como carga mecánica*. España: Universidad Politécnica de Cartagena. Disponible en: <http://repositorio.bib.upct.es/dspace/bitstream/10317/559/1/pfc2652.pdf> [14 Julio 2015].
- SAENZ (2015). *Fábrica de bancos de prueba de motores*. Mar del Plata, Argentina. Disponible en: http://www.saenzdynos.com.ar/content/motores_ds.php [14 Julio 2015].
- WEG (2015). *Catálogo de motores trifásicos cerrados IEC 60 Hz*. Disponible en: <http://www.actiweb.es/durelectric/archivo1.pdf> [14 Julio 2015].