

Motor monofásico de polos sombreados. Estudio cuantitativo y comparativo (Parte 1)

Omar Dionisio Galloⁱ, Diego Martín Ferreyraⁱⁱ y Alberto Javier Díazⁱⁱⁱ

Resumen

Este es un estudio de varios motores de polos sombreados similares, aplicables a un mismo electrodoméstico. Consiste en lo siguiente:

- Reproducir aproximadamente, acoplados a un dinamómetro, sus condiciones de funcionamiento normales en carga nominal, a los fines de obtener y analizar los parámetros de entrada y salida y las temperaturas.
- Relevar los datos constructivos; calcular, comparar y analizar las exigencias de sus componentes activos.
- Graficar curvas características de funcionamiento y obtener los parámetros derivados de ellas.

El objetivo es, básicamente, aportar datos adicionales al conocimiento de este tipo de motores.

Palabras clave: motores eléctricos, motores de polos sombreados, motores de polos sombra, ensayo de motores, electrodomésticos.

ⁱ Ingeniero Electromecánico, Magister en docencia universitaria, especialista y docente investigador (categoría III) de Máquinas Eléctricas. Director del Grupo Cálculo e Investigación, Desarrollo y Ensayo de Máquinas Eléctricas de la UTN FR. Lidera proyectos de investigación homologados y es autor de publicaciones relacionadas con la especialidad.

ⁱⁱ Ingeniero Electromecánico, doctorando en ciencias eléctricas, investigador (categoría D) y docente de Máquinas Eléctricas. Asesor permanente del Grupo CIDEME. Lidera proyectos de investigación homologados y es autor de publicaciones relacionadas con la especialidad.

ⁱⁱⁱ Alumno avanzado de ingeniería electromecánica, integra como becado el Grupo CIDEME. Participa en los proyectos de investigación y comienza a compartir autoría en las publicaciones sobre la especialidad.

Abstract

This is a study performed on several shaded-pole induction motors to be applied on the same home appliance. It consists of the following:

- Approximate reproduction, by means of a dynamometer, of their normal operating conditions under nominal load in order to retrieve and assess their input and output parameters and their temperatures
- Gathering of their manufacturing details; computing, comparing and assessing the requirements placed on their active components
- Graphing characteristic curves for their operation, and computing the parameters derived from them

The purpose is basically to contribute additional information to the knowledge of this kind of motors.

Key words: Electric motors, shaded-pole induction motors, SPIM, motor testing, home appliances.

Generalidades

El motor de polos sombreados o de polos sombra es un tipo de motor monofásico con características constructivas particulares que lo hacen especialmente apto para aplicaciones de bajo costo, tales como pequeños ventiladores, mecanismos de relojería, aparatos de uso médico y electrodomésticos.

El circuito magnético de esta máquina puede asimilarse al de un transformador monofásico de columnas (fig. 1) o al de un transformador acorazado (fig. 2), en el cual se intercala un rotor de jaula de ardilla convencional y que se energiza con un arrollamiento concentrado sencillo. Este último es el modelo que se estudia.

El bobinado de arranque está constituido por espiras de sombra alojadas a los costados de las expansiones polares, que son de muy baja impedancia y constan de un alambre de cobre cortocircuitado.

Los principios de funcionamiento de estas máquinas son bien conocidos y están ampliamente documentados en tratados especializados [Wildi, 2007]. El arranque y el sentido de giro se producen por la interacción entre el campo principal y el campo de las bobinas de sombra [Harper, 2004].

Cabe destacar que la sencillez de su construcción y su reducida cantidad de material activo lo convierten en el motor de inducción de menor costo, lo cual induce a la industria a implementarlo en la mayor cantidad posible de aplicaciones.

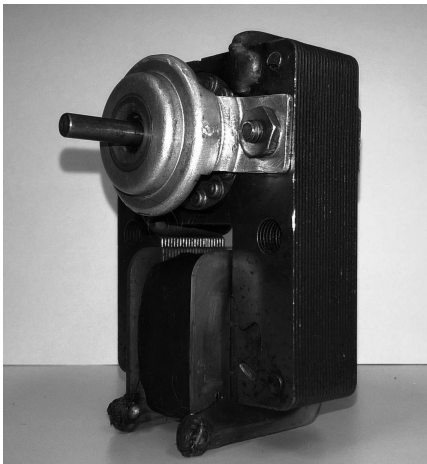


Fig. 1. Motor con circuito magnético tipo monofásico de columnas



Fig. 2. Motor con circuito magnético tipo monofásico acorazado

La bibliografía convencional [Chapman, S., 2005] suele abordar el motor de polos sombreados como una especie de apéndice, sin demasiadas profundizaciones ni proyecciones, debido tal vez a sus aparentes aplicaciones restringidas y sus limitaciones en el arranque. En la literatura, existen estudios más avanzados que analizan esta

máquina desde puntos de vista originales y arrojan generalizaciones y resultados de cálculos satisfactorios [Varga J., Basic D., 1997; Šarac V. J., Čundev D. M., 2012].

Por otra parte, está visto que, en la actualidad, el uso del motor de polos sombreados se ha difundido enormemente, su diseño ha mejorado notablemente y su capacidad de potencia y momento de arranque se han incrementado.

Aquí se intentará aportar nuevos datos a los conocimientos sobre los aspectos constructivos y funcionales de dicha máquina.

Motivo del estudio

Este estudio promedia y analiza los resultados obtenidos del ensayo en laboratorio de diversos motores de polos sombreados usados en el mismo electrodoméstico, que poseen algunos componentes ligeramente diferentes entre ellos. El fabricante introdujo tales variantes con el interés de lograr un mejor desempeño en el funcionamiento y una reducción en los costos de fabricación.

Los siguientes son los elementos que incluyen variantes: a) las espiras y conductores de los bobinados (de cobre o de aluminio), b) las dimensiones y áreas de las espiras de sombra, c) el ancho de la ranura interpolar y d) la longitud del paquete de chapas.

No obstante estas diferencias, los motores presentan básicamente el mismo dibujo de chapa del estator y del rotor; sus potencias de salida cercanas a 50 W en 3000 min⁻¹ (rpm) sincrónicas, y su alimentación a 220 V, 50 Hz (figs. 3 y 4).

Se espera que los datos relevados sean de utilidad para los diseñadores de estos tipos de motores, en el sentido de lograr mejoras en el funcionamiento y en el aprovechamiento de los materiales activos de modelos de similares o mayores potencias.



Fig. 3. Chapa del estator

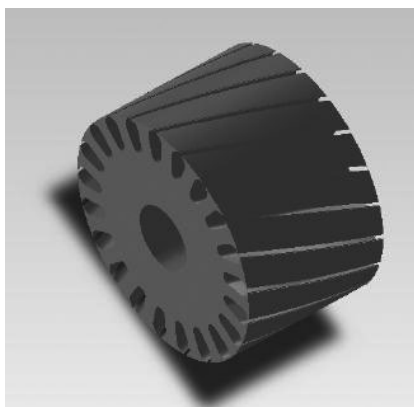


Fig. 4. Chapa del rotor de jaula
Se observa la torsión de las ranuras que alojan la jaula de ardilla

Procedimiento e instrumental

El procedimiento para obtener los valores de funcionamiento fue el siguiente:

- Ensayo preliminar de un motor accionando su electrodoméstico, según un método normalizado [IRAM, 2003], registrando valores de entrada y de salida.
- Reproducción, con un dinamómetro para prueba de motores, de las condiciones de marcha correspondientes al accionamiento del electrodoméstico.
- Relevamiento de los datos constructivos, tanto mecánicos como eléctricos.
- Confección de tablas comparativas de los datos obtenidos, análisis y cálculos, y obtención de las respectivas conclusiones.
- Trazado de las curvas características de los tres modelos de motores y obtención de conclusiones derivadas de ellas.

Se usó el siguiente instrumental: a) un dinamómetro para prueba de motores, de imanes permanentes (fig 5), b) una balanza electrónica, c) un tacómetro por reflexión, d) una pinza voltamperométrica que mide potencia y un analizador de redes, e) un ohmímetro tipo puente, y f) un medidor digital de temperaturas. Todos estos instrumentos están debidamente calibrados por entes nacionales certificados. Para el relevamiento dimensional, se usó un micrómetro analógico (0-25mm) y un calibre digital (0-150 mm).

Símbolos usados

Los símbolos usados en este estudio son los expresados en la tabla 1

Tabla 1: Símbolos usados

ρ_{cu}	$\Omega .mm^2/m$	Resistividad del cobre
B_i	T	Densidad de flujo en un tramo magnético
Cdt	V	Caída de tensión
f	Hz	Frecuencia nominal
Fem	V	Fuerza electromotriz
Fmm	$A.v$	Fuerza magnetomotriz
I_{ar}	A	Corriente en el anillo del rotor
I_{as}	A	Corriente en el anillo de sombra
I_{br}	A	Corriente de barra del rotor
I_n	A	Corriente nominal (a plena carga) del motor
I_t	A	Corriente total del motor
N_{bp}	...	Número de espiras de la bobina principal

N_{bs}	...	Número de espiras de la bobina de sombra
N_{rr}	...	Número de ranuras del rotor
P_{eje}	W	Potencia entregada en el eje
R_f	Ω	Resistencia en caliente, al final del ensayo
R_i	Ω	Resistencia en frío, al iniciar el ensayo
S_{cu}	mm^2	Sección del alambre de cobre de la bobina
S_i	m^2	Sección perpendicular al campo magnético
taf	$^{\circ}C$	Temperatura del ambiente, al finalizar el ensayo
t_{ai}	$^{\circ}C$	Temperatura ambiente al inicio del ensayo
V_n	V	Tensión nominal aplicada
W_{cons}	W	Potencia consumida (en los gráficos de curvas)
X_i, R_i	W	Reactancia, resistencia interna equivalente del motor
Z_t, X_t	Ω	Impedancia, reactancia total equivalente del motor
ΔT	K	Sobretemperatura media de un bobinado
Φ_i	T	Flujo en un tramo magnético
Φ_p	Wb	Flujo principal, por polo

Resultados y análisis de ensayos al freno

Los ensayos con dinamómetro arrojan los siguientes rangos de valores (tabla 2), según los distintos modelos, para 50 W de potencia entregada en el eje:

Tabla 2: Rangos de valores de ensayo al dinamómetro

a) Resistencia de los bobinados en frío	Ω	5,27 – 8,87
b) Sobretemperaturas de funcionamiento	K	45 – 81
c) Tiempo de funcionamiento a carga nominal	min	60
d) Tensión de alimentación	V	220 – 224
e) Corriente de carga	A	2,36 – 3,55
f) Potencia consumida	W	314 – 434
g) Eficiencia	%	12,2 – 16,5
h) Velocidad del eje a plena carga	min-1	2429 – 2600
i) Momento de arranque (% del nominal)	%	90 – 140
j) Corriente de arranque	A	3,16 – 4,95
k) Corriente en vacío	A	2,40 – 3,47

a) Resistencia de los bobinados en frío: A la misma sección de alambre, las resistencias óhmicas medidas son directamente proporcionales a la longitud del paquete de chapas. A igualdad de paquete, los valores de resistencia en cobre o aluminio son similares, debido a que varían, para uno u otro caso, las espiras y el diámetro del conductor.

b) Sobretemperaturas de funcionamiento: a las mismas condiciones de auto-refrigeración, las sobretemperaturas de los bobinados dependen básicamente de las corrientes consumidas por cada motor; se obtienen por variación de resistencia, según norma [IRAM, 1981] (ec. 1):

$$\Delta T (K) = (235 + t_{\alpha i}) \cdot (R_f / R_i) + 235 - t_{af} \quad (1)$$

c) Tiempo de funcionamiento a carga nominal: todos los modelos se prueban durante 60 minutos a carga nominal, a los fines de comparar resultados de calentamiento.

d) Tensión de alimentación: se mantiene aproximadamente constante, debido a que la respuesta en el eje es muy sensible a ella.

e) Corriente de carga: las corrientes de carga, de vacío y de arranque varían, como es de esperar, según las diferentes impedancias que producen los distintos bobinados y las excitaciones magnéticas; en general aumentan con la reducción de los paquetes de chapas y/o el incremento de los entrehierros.

f) Potencia consumida: las potencias consumidas en vacío y a plena carga también están relacionadas con las exigencias en el hierro, en las bobinas del estator y la jaula rotórica y las pérdidas en los aros de sombra.

g) Eficiencia: como era de preverse, las eficiencias son bajísimas. La discriminación de las pérdidas que se realizará en el próximo título arrojará algo de claridad al respecto.

h) Velocidad del eje a plena carga: en algunos modelos, el deslizamiento alcanza al 18%. Aunque la potencia entregada es pequeña y las exigencias de los materiales activos son importantes, no es un valor fuera de lo razonable.

i) Momento de arranque: los momentos de arranque se reducen con los menores paquetes de chapas y con la mayor impedancia de las bobinas de sombra. *Los valores de dichos momentos son importantes en proporción y resultan suficientes para acelerar una carga relativamente voluminosa y pesada hasta alcanzar su velocidad nominal en aproximadamente 60 segundos. Esto significa una atractiva propiedad desde el punto de vista industrial.*

Cálculo y análisis de valores de funcionamiento

Los valores indicados en la tabla 3 se obtienen de realizar los cálculos según las dimensiones de los paquetes de chapas, los datos de las bobinas, las ranuras del rotor y otros aspectos constructivos.

Tabla 3
Rangos de valores cuantitativos de funcionamiento

aa) Factor de apilamiento estimado	...	0,90
bb) Densidad de corriente en el bobinado principal	A/mm ²	4,70 – 8,80
cc) Densidad de corriente en los aros de sombra	A/mm ²	18,4 – 42,8
dd) Flujo por polo	Wb	0,0017
ee) Densidad de flujo en el entrehierro	T	0,61 – 0,79
ff) Densidad de flujo en el núcleo polar	T	1,76 – 2,10
gg) Densidad de flujo en la corona polar del estator	T	1,73 – 2,05
hh) Densidad de flujo en el diente del rotor	T	1,71 – 2,50
ii) Densidad de corriente en las barras del rotor	A/mm ²	3,30 – 4,70
jj) Densidad de corriente en el anillo del rotor	A/mm ²	19,0 – 35,0
kk) Pérdidas totales en caliente	W	251 – 360

Tabla 3 (cont.)
Rangos de valores cuantitativos de funcionamiento

ll) Pérdidas en el cobre bobinado principal	W	51,0 – 87,0
mm) Pérdidas en los aros de sombra a 150°C	W	33,4 – 110
nn) Pérdidas en barras rotóricas aproximadas	W	30,2 – 32,5
oo) Pérdidas en los anillos rotóricos aproximadas (W)	W	31,6 – 41,2
pp) Pérdidas en el hierro y mecánicas aproximadas	W	89,2 – 105

aa) Factor de apilamiento estimado: el valor 0,90 se estima como para una chapa de mediana calidad.

bb) Densidad de corriente en el bobinado principal: la densidad de corriente en el bobinado principal es el cociente entre la corriente nominal consumida y la sección del alambre de cobre (ec.2); para igualdad de potencia entregada las corrientes son mayores cuando las exigencias de los materiales activos aumentan o cuando disminuyen las impedancias:

$$\rho_{cu} \text{ (A/mm}^2\text{)} = I_n / S_{cu} \quad (2)$$

Los valores máximos de esta densidad superan los valores habituales para régimen continuo, que en los diseños actuales suelen ubicarse cerca de los 6 A/mm² [Gallo, 2012]; esto origina superiores calentamientos y caídas de tensión, que pueden admitirse por el régimen particular de servicio intermitente de estos modelos.

cc) Densidad de corriente en los aros de sombra: se obtiene de igual manera que en el punto anterior. La corriente se considera como producto de una relación sencilla de transformación, en la que interviene aproximadamente la mitad del flujo de un polo (ec. 3):

$$I_{as} \cong I_n \cdot N_{bp} / (2 \cdot N_{bs}) \quad (3)$$

En realidad, la zona de la expansión polar donde está ubicado el aro de sombra (fig. 6) tiene un área mayor, lo que supone un mayor valor de flujo concatenado y por lo tanto mayor fem y corriente que la calculada por la expresión (3).

Las densidades de corrientes en los aros de menor sección alcanzan valores muy elevados, lo que significa una gran concentración de pérdidas y reducción de la eficiencia de la máquina.

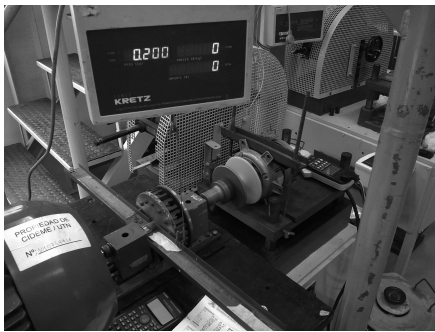


Fig. 5. Freno de prueba e instrumental
Hacia la izquierda, el freno; hacia la derecha, el motor acoplado y la pinza voltamperométrica; hacia arriba, la balanza

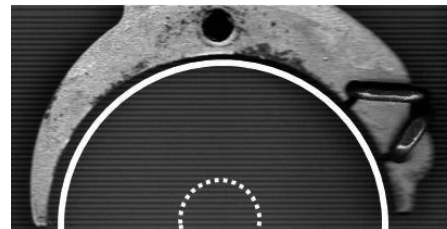


Fig. 6. Diferentes expansiones polares
La expansión polar que aloja la espira de sombra resulta ser de mayor sección. La otra expansión presenta una zona de curvatura no circular que produce un mayor entrehierro y contribuye a la reducción del campo.

dd) Flujo por polo: se obtiene aplicando la expresión de la fuerza electromotriz inducida según la ley de Faraday – Lenz ($e = -N d\phi/dt$), despreciando las caídas de tensión en el bobinado principal y considerando un factor de arrollamiento unitario (ec. 4):

$$\Phi_p \cong V_n / (4,44 \cdot N_{bp} \cdot f) \quad (4)$$

ee-hh) Densidades de flujo: las densidades de flujo en todos los tramos del circuito magnético se calculan considerando que el flujo que se deriva en cada trayecto es perpendicular al área que atraviesa, incluso en el entrehierro (ec. 5) y se desprecian los campos dispersos y los efectos de borde:

$$B_i = \Phi_i / S_i \quad (5)$$

Para simplificar, en el rotor se tomó el ancho promedio de los dientes de ranura. Cuando el mismo flujo atraviesa distintas secciones del circuito magnético, como en la corona del estator, se toma la menor de ellas, es decir, el caso más desfavorable.

Los valores de las densidades de flujo en el entrehierro son razonables para estas velocidades. En los restantes tramos del circuito se consideran valores relativamente normales cuando no superan los 1,7 T [Gallo, 2012].

ii) Densidad de corriente en las barras del rotor: se calcula considerando que la corriente por cada una de ellas surge aproximadamente de igualar la fmm del estator con la del rotor (ec. 6):

$$I_{br} \cong 2 I_n \cdot N_{bp} / N_{rr} \quad (6)$$

Si se comparan estos valores de densidades de corrientes con los del estator, puede verse que son sensiblemente menores, lo cual producirá también menores pérdidas.

jj) La corriente máxima en cada anillo rotórico se obtiene de la suma fasorial de las corrientes de las barras por cada polo (ec. 7) [Corrales Martín, 1976]:

$$I_{ar} \cong N_{rr} \cdot I_{br} / (2\pi) \quad (7)$$

Los valores promedios de densidades de corrientes en tales anillos son elevadísimos, lo cual supone una gran exigencia térmica.

kk-oo) Las pérdidas totales superan varias veces la potencia entregada, tal como se observa en el párrafo anterior al evaluar la eficiencia. De las pérdidas en todos los arrollamientos ($I^2 \cdot R$), las que se producen en los aros de sombra alcanzan valores similares o incluso superiores a las restantes.

ll) Las pérdidas en el hierro se obtienen del ensayo en vacío y, por lo general, son las de mayor peso. Las mecánicas pueden considerarse despreciables.

Imágenes térmicas

Las figs. 7 y 8 muestran imágenes térmicas de un motor durante una prueba con rotor bloqueado, luego de unos 15 minutos de energizado a su corriente de arranque.

Esta toma permite individualizar claramente las zonas de mayor temperatura y por ende, aquellas en las que se concentran las pérdidas, tales como los bobinados (172,5 °C), los aros de sombra (219,6 °C) y toda la zona del rotor, principalmente cerca del eje (macizo) que cortocircuita las chapas.

Las piezas polares reciben el calor de las otras partes cercanas y la corona del estator no se observa demasiado caliente respecto a las otras regiones.

Este es el comportamiento térmico que presenta el motor durante el prolongado tiempo de arranque que, aunque es algo suavizado por la autorefrigeración, contribuye significativamente a incrementar la temperatura de la máquina al final de su ciclo de trabajo.

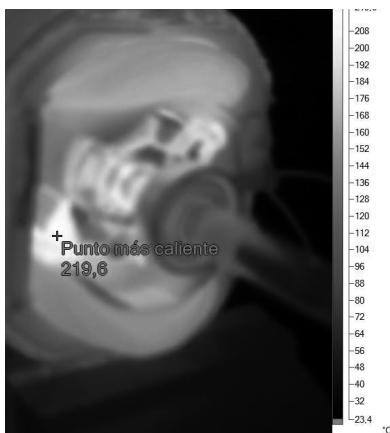


Fig. 7. Imagen térmica lateral
La concentración de calor se produce en las espiras de sombra y en las barras del rotor

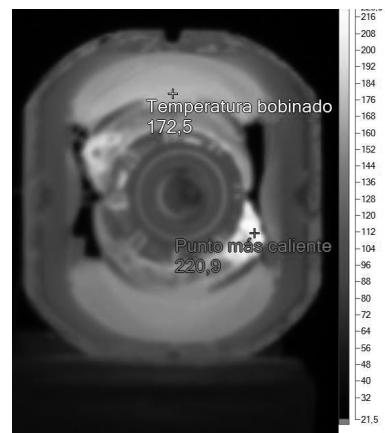


Fig. 8. Imagen térmica frontal
Se observa el valor de temperatura alcanzado por el bobinado.

Graficado de curvas características

La tabla 4 indica los valores de ensayo en vacío, carga y rotor bloqueado de tres muestras (llamadas E2, E3 y E4) de similares características, con aros de sombra y sin ellos, de los que luego se obtienen las curvas características con valores de salida y de entrada.

Tabla 4
Valores característicos de funcionamiento de tres muestras

	Unidad	E2 con aros	E2 sin aros	E3 con aros	E3 sin aros	E4 con aros	E4 sin aros
Resistencias de bobinados							
Resistencia inicial bobina	Ω	5,55	5,52	5,69	5,69	5,62	5,68
Temperatura ambiente inicial	$^{\circ}\text{C}$	25,4	25,7	25,8	26,0	25,2	26,4
Resistencia final bobina	Ω	5,83	5,78	6,33	6,20	5,78	6,21
Temperatura ambiente final	$^{\circ}\text{C}$	25,8	25,5	25,8	26,2	25,5	26,5
Ensayo en vacío							
Tensión	V	221	220	221	219	220	220
Corriente	A	3,61	3,45	3,77	3,62	3,67	3,54
Potencia consumida	W	335	267	333	276	327	265
Velocidad del eje	min^{-1}	2843	2788	2841	2781	2836	2787
Ensayo en carga (50 W)							
Tensión	V	221	220	221	219	222	220
Corriente	A	3,65	3,50	3,81	3,64	3,76	3,61
Potencia consumida	W	385	329	387	336	383	333
Velocidad	min^{-1}	2722	2630	2724	2612	2728	2618
Potencia en el eje	W	51,5	51,5	51,5	51,7	52,7	50,2
Ensayo de rotor bloqueado							
Tensión	V	219	219	220	219	220	219
Corriente	A	5,23	5,22	5,33	5,27	5,30	5,20
Potencia consumida	W	690	628	698	641	698	628
Momento en el eje	$\text{N} \cdot \text{m}$	0,22	0,00	0,25	0,00	0,25	0,00

Como se observa en dicha tabla, las temperaturas del ambiente acusan pequeñas variaciones entre el inicio y el final de los ensayos; los motores se refrigeraron exteriormente para mantener constante su temperatura; debido a esto las resistencias de los bobinados no superaron una variación del 12 % en el intervalo de pruebas y se consideran prácticamente constantes.

Las tensiones de prueba se mantienen siempre muy próximas a 220 V; como es de esperar, las corrientes, las potencias consumidas y las velocidades de los ejes son siempre menores, cuando se quitan los aros de sombra.

En general, todos los valores son cercanos, lo que prueba que los tres motores son similares en su construcción.

La figura 9 muestra las distintas curvas del momento motor en función de la velocidad, obtenidas experimentalmente con un dinamómetro, mediante un proceso de filmación. Se puede observar que las diferencias de formas y valores entre las tres son menores y perfectamente admisibles desde el punto de vista de la fabricación seriada.

El formato de las curvas es el típico de un motor de inducción con un considerable momento de arranque, un valor máximo bien definido y un tramo final de carga ligeramente curvo. No se ven baches en los momentos ni otras discontinuidades apreciables.

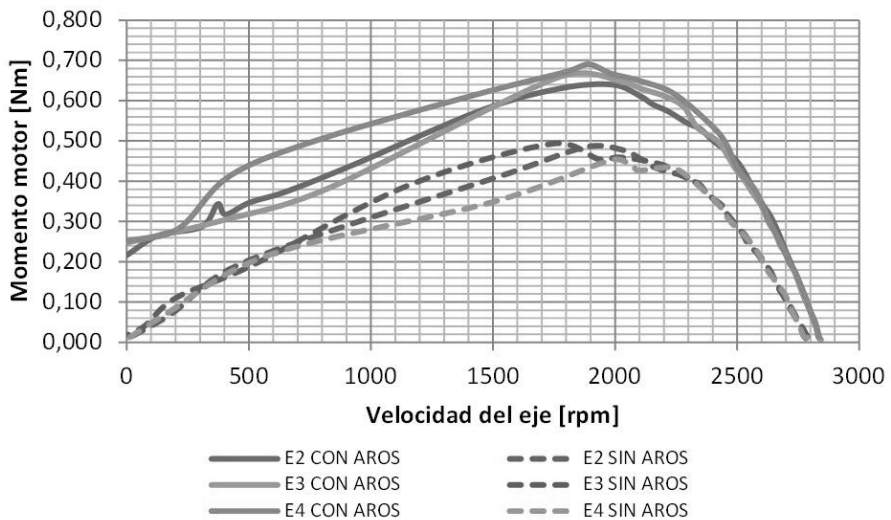


Fig. 9 . Curvas características de los motoresl

Se observa el significativo aporte de los aros de sombra al momento motor de la máquina, en todo el desarrollo de la curva. barras del rotor

Este mismo ensayo permite obtener las curvas de potencia y corriente de entrada para uno de estos modelos (fig. 10), con aros de sombra y sin ellos, en función de la velocidad; ambas curvas tienen las formas típicas de cualquier motor de inducción normal. En el caso de la corriente el descenso del valor en función de la velocidad es menos pronunciado que el de la potencia, debido a las fuertes componentes debidas a las pérdidas en el hierro y a las espiras en cortocircuito de los aros de sombra.

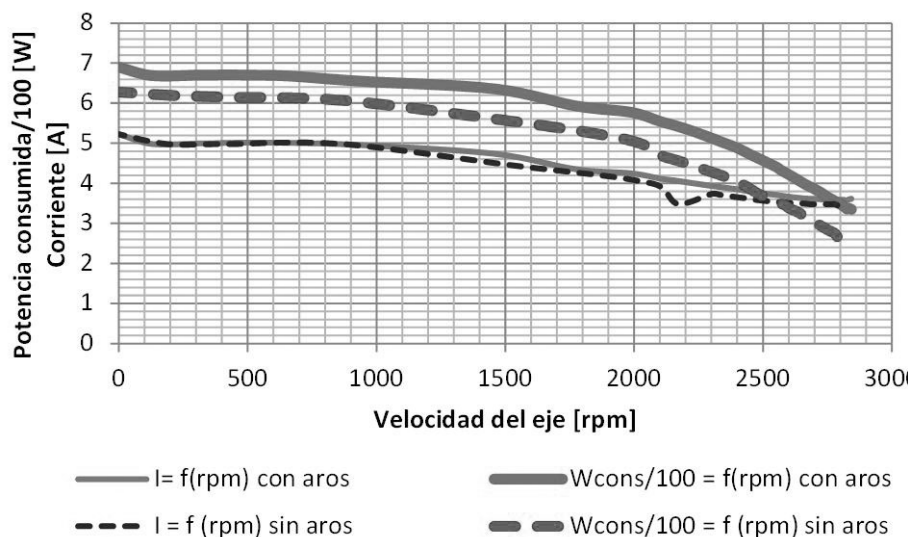


Fig. 10 . Curvas típicas de corrientes y potencias de entrada

Mientras que las potencias consumidas sin los aros de sombra son menores, los valores de corrientes se mantienen, por la constancia de potencia en el eje.

En la tabla 5, se indican los valores máximos y/o mínimos de eficiencia, impedancia total, resistencia, reactancia e impedancia internas equivalentes en función de la velocidad verificados para cada modelo, y obtenidos de las curvas de la figs. 9 y 10.

Tabla 5
Valores característicos máximos y mínimos en función de la velocidad

Parámetros	Unidad	E2 con aros		E3 con aros		E4 con aros	
		min-1	Valor	min-1	Valor	min-1	Valor
Momento máximo eje	Nm	1990	0,640	1771	0,659	1890	0,691
Potencia máxima eje	W	2103	134,7	2208	141,1	2238	145,0
Eficiencia máxima	%	2348	26,05	2282	26,25	2238	26,76
Impedancia total máxima	Ω	2826	61,40	2841	58,61	2836	59,97
Resistencia interna máx.	Ω	127,0	26,80	2030	24,90	212,0	25,52
Resistencia interna mín.	Ω	2509	24,14	827,0	22,49	2569	22,66
Reactancia interna máx.	Ω	2826	55,54	2841	53,71	2836	54,84
Reactancia interna mín.	Ω	0,000	33,30	0,000	33,32	0,000	33,13
Impedancia interna máx.	Ω	2826	61,12	2841	58,55	2836	59,86
Impedancia interna mín.	Ω	0,000	41,80	0,000	41,21	0,000	41,41

En esta tabla, la resistencia interna es un valor equivalente que está determinado según la impedancia total de la máquina, el factor de potencia, la corriente y la potencia entregada por el eje (ecs. 8, 9, 10):

$$Z_t = V / I_t \quad (8)$$

$$X_i = X_t = Z_t \cdot \text{sen } \varphi \quad (9)$$

$$R_i = Z_t \cdot \text{cos } \varphi - P_{\text{eje}} / I_t^2 \quad (10)$$

En la fig. 11, se muestran las curvas de estos valores en función de la velocidad, para los distintos modelos probados.

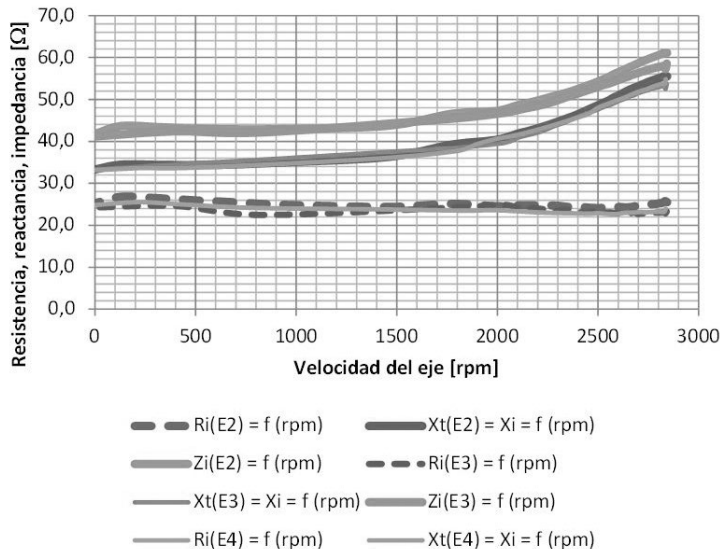


Fig. 11 . Curvas de impedancias internas y sus componentes
 Los valores de los parámetros son coincidentes en los tres modelos. Mientras que la resistencia interna no acusa importante variación, es importante el cambio en la reactancia y la impedancia.

Por lo que se ve en esta figura y como es normal en los motores de inducción, la reactancia ($X_t = X_i$) es la componente de mayor valor de la impedancia interna de la máquina; se reduce en bajas velocidades y altas corrientes, probablemente debido a la saturación del circuito magnético, y aumenta hacia las mayores velocidades y menores corrientes.

Los valores de resistencia interna, están dentro del orden de la resistencia de los aros de sombra reducida al primario y la del bobinado de alimentación.

Conclusiones y proyecciones

Este trabajo pretende agregar mayor información a la disponible en el universo de las máquinas eléctricas de baja potencia, sin intentar agregar hipótesis que apunten al mejoramiento tecnológico de estos motores.

En realidad, los diseños están muy limitados por los costos comerciales de los equipos accionados y tal vez puedan lograrse avances significativos en el desempeño mediante mejoras físicas o químicas en los materiales activos.

Esto significa que si actualmente se intentara obtener un motor monofásico de este tipo de mayor eficiencia, sólo podría lograrse aumentando sus cantidades de hierro, cobre y aluminio, y su precio quedaría fuera del precio de mercado.

No obstante, si estos motores cumplen con las prestaciones para las cuales son destinados, al usuario no le interesa demasiado el nivel de consumo de energía, especialmente teniendo en cuenta las bajísimas potencias involucradas. Esto parece ser aún independiente de las políticas de ahorro energético que se impulsan actualmente.

En el tiempo, es de esperar que algunos fabricantes [Farnell, Telco, 2016] sigan logrando originales mejoras y avances tecnológicos en pos de extender la aplicación de estos motores, al menor costo posible.

Bibliografía

CHAPMAN S. J.: *Máquinas Eléctricas*. Cap. 10 Motores monofásicos y motores especiales, Ed. Mc Graw Hill, Australia, Buenos Aires, 2000, pp. 673-675. <https://dhramosfigueroa.files.wordpress.com/2014/02/mc3a1quinas-elec3a9ctricas-3ra-edicic3b3n-stephen-chapman.pdf> (21/04/2016)

CORRALES MARTIN, J.: *Cálculo Industrial de Máquinas Eléctricas*, Tomo II. Ed. Universidad Politécnica de Barcelona, 1976, pp. 277-278.

FARNEL: *Shaded pole motor*. Catálogo del fabricante, 2016.

<http://uk.farnell.com/ebm-papst/m4q045-da01-75/shaded-pole-motor-1300rpm-230vac/dp/2474661>

GALLO, O. D.; GALLO, J. A.: *El ABC de las Máquinas Eléctricas. II Motores de CA. Cap. 5 Motores monofásicos de CA.* . Grupo CIDEME, Universidad Tecnológica Nacional, San Francisco, Córdoba, Argentina, 2012. Sección ayuda, cálculo de bobinado. <http://progebo.com/> (21/04/2016).

HARPER, G. E.: *El ABC de las Máquinas Eléctricas. II Motores de CA. Cap. 5 Motores monofásicos de CA.* , Ed. Limusa, México, 2004, pp. 284-293.

<https://books.google.com.ar/books?isbn=9681826876> (21/04/2106)

IRAM 2008-2: *Máquinas eléctricas rotativas. Métodos de ensayo para la determinación de las pérdidas y del rendimiento, excluyendo las máquinas para vehículos de tracción eléctrica*, 1981.

IRAM 2092-2-43: *Seguridad de los aparatos electrodomésticos y similares. Parte 2: Requisitos particulares para los secadores de ropa y los secadores de toallas*, 2003.

TELCO: *Shaded pole motor*. Catálogo del fabricante, 2016. <http://www.telcointercon.com/c-frame-shaded-pole-motor-id20.html>

VARGA JOZSEF, BASIC DJURA.: *Analysis of the characteristics of single phase shaded pole induction motor with two short-circuited auxiliary phases*. IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 12, No. 4, December 1997.

<http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?reload=true&arnumber=638860>
(21/04/2016)

VASILIJ J. ŠARAC, DOBRI M. ČUNDEV: *Electromagnetic fields calculation at single phase shaded pole motor*: “E+E”, 7-8/2012.

http://eprints.ugd.edu.mk/3789/1/E%2BE_7-8-2012-Full.42-46-1.pdf

WILDI, T.: *Máquinas Eléctricas y Sistemas de potencia. Cap. 18 Motores monofásicos.*, Ed. Pearson, México, 2007, pp. 411-412. <https://books.google.com.ar/books?isbn=9702608147> (21/04/16)

