

MÉTODO EXPERIMENTAL BASADO EN LAS SOBRETENPERATURAS DE ENSAYO DE MOTORES ELÉCTRICOS DE INDUCCIÓN

A. J. Díaz*⁽¹⁾, D. M. Ferreyra⁽¹⁾, O. D. Gallo⁽¹⁾

⁽¹⁾Universidad Tecnológica Nacional (UTN). Facultad Regional San Francisco
Grupo Cálculo e Investigación, Desarrollo y Ensayo de Máquinas Eléctricas (CIDEME)
Avenida de la Universidad 501, San Francisco, Córdoba (Argentina)
*E-mail: albertojavierdiaz@gmail.com

INTRODUCCIÓN

En los motores eléctricos, uno de los parámetros más importantes que define la vida útil es su temperatura de funcionamiento en régimen permanente. Dicho parámetro condiciona la durabilidad de los materiales aislantes, tal que un aumento de 10 K por encima de la clase térmica de estos reduce la vida útil a la mitad (Orace, 2000). Por tal motivo, es importante que los responsables del mantenimiento de dichas máquinas tengan a disposición valores de temperatura normales a fin de poder diagnosticar, con cierto grado aproximación, si se presenta alguna anomalía que podría terminar en falla.

En este trabajo, se dan a conocer valores obtenidos de múltiples ensayos a motores de inducción trifásicos totalmente cerrados y autoventilados (TEFC, por sus siglas en inglés), sobre la sobretensión normal de carcasa, tomada en la zona central de los motores (ver Fig. 2), a la que debería aproximarse cuando se encuentra estabilizado en temperatura y entregando su potencia nominal. También, se dan a conocer la sobretensión interna promedio de los bobinados, las constantes de tiempo y un modelo matemático de aproximación para la curva de evolución de la sobretensión de carcasa, para motores eléctricos de inducción trifásicos de baja tensión, con potencias de 11 kW a 132 kW en 4 y 2 polos, funcionando en servicio continuo.

MÉTODOS Y RESULTADOS

Para conocer la sobretensión de funcionamiento en estado estable a la que van a estar sometidos los materiales aislantes en su interior, se somete al motor de inducción a un ensayo de temperatura. Dicho ensayo consiste en hacer entregar al motor, de forma constante, su potencia nominal de salida, y registrar la evolución de la sobretensión en la carcasa mediante algún instrumento de medición (en este caso una termocupla tipo K calibrada), a fin de poder determinar el instante en el cual se considera al motor estabilizado en temperatura. Dicho instante se da cuando la sobretensión no varía más de 2 K/h (IEEE, 2004).

La sobretensión interna del bobinado de la máquina se determina por el método de variación de las resistencias, tal como se indica en la siguiente expresión de la norma IEC 60034-1 (Arce, 2016):

$$\Theta_2 - \Theta_a = \frac{R_2 - R_1}{R_1} (k + \Theta_1) + \Theta_1 - \Theta_a \quad (1)$$

Donde:

R_1 : resistencia del bobinado a la temperatura Θ_1
 R_2 : resistencia del bobinado al final del ensayo
 Θ_1 : temperatura del bobinado al inicio del ensayo
 Θ_2 : temperatura del bobinado al final del ensayo
 Θ_a : temperatura del ambiente al final del ensayo
 k : coeficiente de variación de la resistencia con la temperatura (235 para el cobre y 225 para el aluminio)

Se utilizará como modelo matemático para ajustar la evolución de la sobretensión de la carcasa, un sistema de primer orden (Gao, 2006), tal como se muestra a continuación:

$$\Delta\Theta_{carcasa}(t) = \Delta\Theta_{final} \cdot (1 - e^{-t/\tau}) \quad (2)$$

Donde:

$\Delta\Theta_{carcasa}$: sobretensión en el tiempo t
 $\Delta\Theta_{final}$: sobretensión estabilizado
 τ : constante de tiempo

En la Fig. 1, se muestra la curva real de evolución de la sobretensión de carcasa de una de las muestras ensayadas, indicado por puntos, y la curva de ajuste utilizando el modelo en (2).

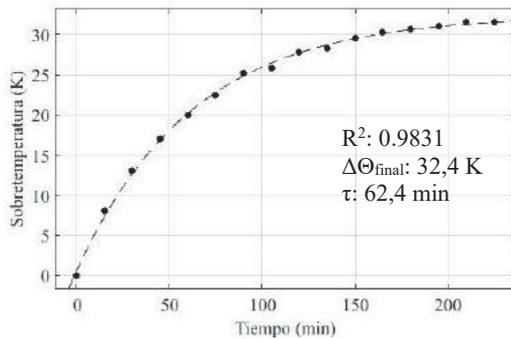


Fig. 1. Curva de ajuste para motor de 110 kW, 380 V, tamaño 315, 1480 min⁻¹, 4 polos

De las muestras ensayadas, se realizó un análisis estadístico inferencial, en el cual se utilizó una distribución de densidad de probabilidad t de Student, con un nivel de significación del 5 % y 11 grados de libertad. De este análisis, se obtuvo que el modelo de ajuste elegido correspondía con los datos experimentales con un coeficiente de determinación (R^2) de $0,987 \pm 0,012$ (Devore, 2008).

Tabla 1. Análisis estadístico de datos para motores eléctricos de 4 polos

	$\Delta\Theta_{\text{carcasa}}$ (K)	$\Delta\Theta_{\text{bobinado}}$ (K)	τ (min)
Media (μ)	40,4	75,0	51,9
Desvío típico (σ)	$\pm 2,3$	$\pm 1,1$	$\pm 5,0$
Significación 5 % (α)	$\pm 5,0$	$\pm 4,1$	$\pm 11,1$

Tabla 2. Análisis estadístico de datos para motores eléctricos de 2 polos

	$\Delta\Theta_{\text{carcasa}}$ (K)	$\Delta\Theta_{\text{bobinado}}$ (K)	τ (min)
Media (μ)	35,4	79,5	39,6
Desvío típico (σ)	$\pm 1,3$	$\pm 2,4$	$\pm 4,5$
Significación 5 % (α)	$\pm 2,9$	$\pm 5,4$	$\pm 10,0$

En la Fig. 2, se muestra un ejemplo real de medición de temperatura a un motor de 4 polos.

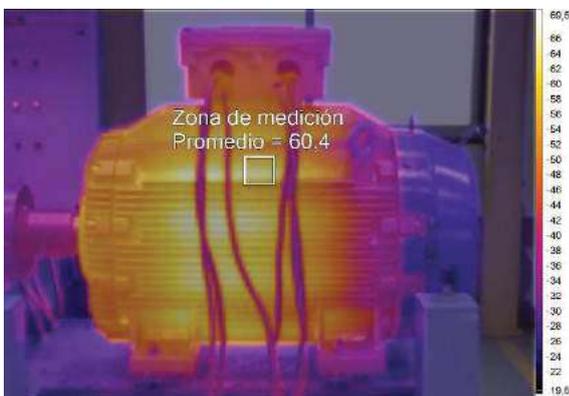


Fig. 2. Imagen termográfica a motor de 260 kW, 4 polos.

En este ejemplo, la temperatura en la zona central de la carcasa es de 60,4 °C con una temperatura ambiente de 19,5 °C, o sea que la diferencia es de 40,9 K, lo que responde a la aproximación planteada en la Tabla 1. Dicho ejemplo, de un motor no incluido dentro de las muestras ensayadas, verifica con buena aproximación el valor de sobretemperatura de carcasa informado en la Tabla 1, y valida así la aproximación propuesta.

CONCLUSIONES

Con lo expuesto, se puede concluir que un valor de sobretemperatura habitual en la zona central de la carcasa, una vez estabilizada la temperatura, funcionando a carga nominal de forma continua, está en el orden de los 40,4 K y 35,4 K por encima de la temperatura ambiente, para motores de 4 polos y 2 polos, respectivamente. Otra conclusión importante que se obtiene de los datos es que la diferencia entre la temperatura interna promedio del bobinado y la de la carcasa es de aproximadamente 30 K y 44 K para motores de 4 polos y 2 polos, respectivamente.

Se puede deducir, además, que el tiempo que tardan en alcanzar aproximadamente el 95 % de la temperatura de estabilización los motores de 4 polos y 2 polos, es de 2:36 h y 2:00 h, respectivamente.

Con un coeficiente de determinación del $0,987 \pm 0,012$, queda en evidencia el buen ajuste realizado por el modelo matemático presentado para describir la evolución de la sobretemperatura de carcasa.

Estos datos son de aplicación práctica, de modo que, sin tener que desenergizar el motor y utilizando instrumental básico de medición de temperatura, se pueda estimar de forma rápida si el motor eléctrico se encuentra a una temperatura de funcionamiento normal o presenta un valor anómalo que debiera ser investigada.

REFERENCIAS

- Arce, G., Campbell, M. D., Fisher, M., & Turner, R. (2016). Global standards for rotating machinery: navigating worldwide industry requirements for electric motors. *IEEE Industry Applications Magazine*, 23(1), 58-69.
- Devore, J. L. (2008). *Probabilidad y estadística para ingenierías y ciencias*. Cengage Learning Editores.
- Gao, Z. (2006). *Sensorless stator winding temperature estimation for induction machines* (Doctoral dissertation, Georgia Institute of Technology).
- IEEE Power Engineering Society. (2004). *IEEE standard test procedure for polyphase induction motors and generators*.
- Orace, H. (2000). A quantitative approach to estimate the life expectancy of motor insulation systems. *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, 7(6), 790-796.