

motor tico

BOLETÍN TRIMESTRAL PREPARADO POR WWW.MOTORTICO.COM, COSTA RICA



ENERO-MARZO 2019

Vida útil del sistema de aislamiento del motor: *Efectos de la carga, el factor de servicio y la temperatura*

Introducción

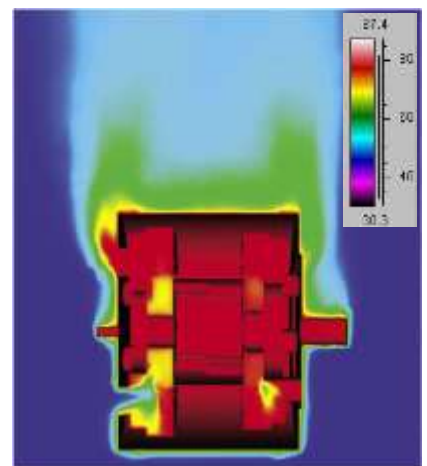
Los motores eléctricos son primordialmente definidos de acuerdo a su potencia de salida mecánica (nominal), expresada en unidades de kW o HP. Este parámetro, junto con otros más, combinados definen el rango o clasificación del motor. Por ejemplo, el motor se clasifica según el rango de velocidad (en RPM), la frecuencia de la línea de alimentación (en Hz) y la tensión (en V). Existen otros parámetros más, que todo usuario de motores deberá conocer para operar correctamente el motor. Uno que destaca es el rango de temperatura de funcionamiento del motor, relacionado con el calor producido durante su operación, el cual está íntimamente ligado a otros parámetros, como, por ejemplo, la capacidad de potencia del motor. En este boletín se analizará este tema, y algunas consideraciones para asegurar la vida útil del motor.

El sistema de aislamiento

En los últimos 40-50 años, se han presentado considerables mejoras en las características y el desempeño de los materiales que conforman el sistema de aislamiento de los motores, tanto en baja tensión (BT) como en media y alta tensión (MT y AT). Hoy día, los aislantes soportan mejor los efectos del calor, principalmente a través del uso de materiales mejorados. Aun así, el calor excesivo acelerará el deterioro del aislamiento y podrá causar una falla prematura, sino se toman los resguardos. Para conocer la temperatura máxima permitida, se deberá revisar la Clase de Aislamiento en la placa de características. Tanto los estándares NEMA como IEC han clasificado los sistemas de aislamiento por su capacidad de proporcionar una resistencia térmica adecuada. Se define así la **Temperatura Total**, como la suma de la temperatura ambiente, más el aumento de temperatura del motor.

La temperatura total que un motor debe soportar es el resultado de dos factores: i) uno externo, o temperatura ambiente; y, ii) otro interno, establecido por la temperatura interna del motor. Una comprensión de cómo se miden y expresan estos dos componentes es importante para la aplicación correcta del motor. La Fig. 1 muestra una imagen termográfica de un motor eléctrico en operación, representado las distintas temperaturas.

Figura 1 Imagen termográfica típica de un motor en operación



En primer lugar, se debe determinar la **Temperatura Ambiente Máxima** sostenida, medida en grados centígrados (Celsius). La mayoría de los motores están diseñados para funcionar a una temperatura ambiente máxima de 40 °C. Si la temperatura ambiente supera los 40 °C, es posible que deba modificarse para compensar el aumento de la temperatura total. En segundo lugar, el **Aumento de Temperatura** es el resultado del calor generado por las pérdidas del motor durante el funcionamiento. Las pérdidas se distribuyen

en las siguientes: i) fricción en los rodamientos; ii) pérdidas del núcleo (corrientes de Foucault y las pérdidas por histéresis); iii) pérdidas del estator I^2R ; y, iv) pérdidas del rotor I^2R (NOTA: I = corriente en amperios y R = resistencia del estator o rotor en ohmios). De esta forma, la temperatura total del sistema de aislamiento del motor se define como:

$$\text{Temperatura Total} = \text{Temperatura Ambiente} + \text{Aumento de Temperatura} + \text{Margen de Temperatura} \quad (1)$$

De acuerdo a la Temperatura Total, se establecen las distintas **Clases de Aislamiento** definidas para los materiales y sistemas aislantes. La Tabla 1 muestra los valores de Temperatura Total para las distintas clases de aislamiento, según las normas IEC 60085 y UL 1446, que son de las más utilizadas en la industria.

Tabla 1 Clases de aislamiento utilizadas en motores eléctricos

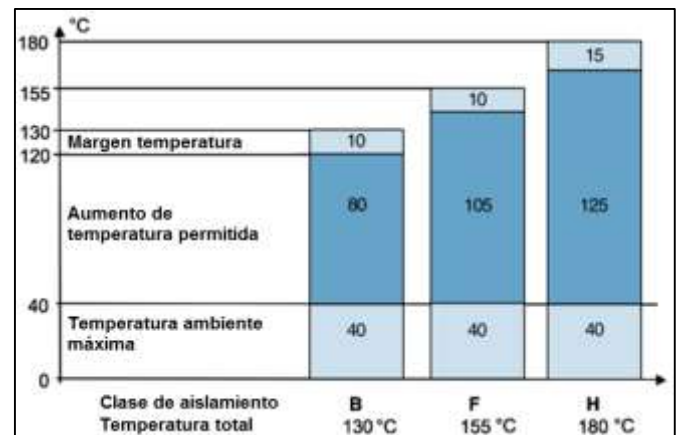
Temperatura	Clase de aislamiento	
	IEC 60085	UL 1446
90 °C	Y (90 °C)	-
105 °C	A (105 °C)	-
120 °C	E (120 °C)	E (120 °C)
130 °C	B (130 °C)	B (130 °C)
155 °C	F (155 °C)	F (155 °C)
180 °C	H (180 °C)	H (180 °C)
200 °C	N (200 °C)	N (200 °C)
220 °C	R (220 °C)	R (220 °C)
240 °C	-	S (240 °C)
Mayores que 240 °C	-	Mayores que 240 °C
250 °C	250 °C	

Fuente: Manual WEG

Para aplicar y entender la Tabla 1, se puede revisar la Fig. 2, que considera a motores de tipo Abierto (ODP en NEMA o IP23 en IEC) y Cerrados (TEFC en NEMA o IP54/55 en IEC), con factor de servicio 1.0. Nótese que la Temperatura Total se debe separar siguiendo la Ecuación 1, en dos componentes principales (*Temperatura Ambiente + Aumento de Temperatura*), y se deja un margen de temperatura de seguridad. El aumento de temperatura es medida en los devanados del motor, por algún método aceptado (directo o por resistencia).

Figura 2 Análisis de clases de aislamiento

Por ejemplo, si el motor tiene clase de aislamiento F, el aumento de temperatura máxima permitida en el devanado será de 105 °C (y no 155 °C), y margen de seguridad de 10 °C.



Dado que el aumento de temperatura de un motor es mayor que el entorno, se transferirá el calor generado durante el funcionamiento del motor al aire ambiente. La tasa de transferencia de calor afecta la carga máxima y/o el ciclo de trabajo de un diseño de motor específico. Los factores que afectan esta tasa de transferencia son: *i)* carcasa del motor (diferentes carcasas dan como resultado diferentes patrones de flujo de aire que alteran la cantidad de aire ambiente en contacto con el motor); *ii)* superficie de contacto de la carcasa (aumentar el área de contacto con el aire ambiente aumentará la tasa de transferencia de calor); *iii)* flujo de aire sobre el motor (la velocidad del aire que se mueve sobre la carcasa afecta la velocidad de transferencia de calor); *iv)* densidad del aire ambiente (una reducción en la densidad del aire ambiente resultará en una baja en la tasa de transferencia de calor del motor, por lo tanto, la temperatura aumenta a medida que la altitud se incrementa).

Efecto de la carga y del factor de servicio

Un parámetro que caracteriza el motor eléctrico es su Factor de Servicio, definido como la capacidad de sobrecarga continua que el motor puede manejar por encima de su potencia nominal, en una temperatura específica. Las variaciones en la tensión y frecuencia no aplican cuando el usuario hace uso del factor de servicio. Es decir, si el motor se sobrecarga se deberá alimentar al 100% de la tensión y frecuencia, para evitar sobre temperatura indeseada (esto muy pocos lo conocen). Entonces, cuando el motor opera ya sea a carga nominal, a baja carga, o con sobrecarga si tiene factor de servicio, se calentará. Es de esperar que, a menor carga, el motor se caliente menos. La vida útil del sistema de aislamiento del motor está relacionada, entre otros factores, con la temperatura de operación. Además, se considera que son cuatro los factores que determinan la vida útil del aislamiento. La Fig. 3 resume estos factores que operan de manera simultánea y provocan el envejecimiento de los materiales aislantes. Las distintas direcciones de las flechas, indican que los factores pueden influir sobre el otro, de manera negativa. Además, las líneas sólidas significan las interacciones primarias (más influyentes), y las líneas discontinuas representan interacciones secundarias (más débiles). Por ejemplo, el factor térmico provocará mayor desgaste en la estructura de los materiales aislantes, lo que producirá, a su vez, menor capacidad de soporte al campo eléctrico (factor de envejecimiento eléctrico).

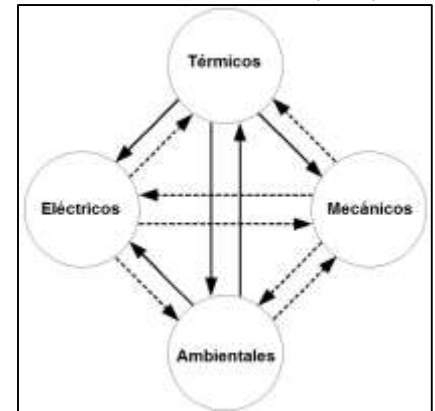


Figura 3 Factores que provocan el envejecimiento del aislamiento

En el caso del factor térmico de la Fig. 3, la norma IEC 216 (Guía para la determinación de propiedades de resistencia térmica de materiales aislantes eléctricos), establece los métodos de prueba de envejecimiento. Utilizando una vida útil de 20.000 horas, se establecen los máximos aumentos de temperatura, según sea la clase de aislamiento. Además, en máquinas rotativas es común usar la regla empírica que dice que, por cada 10 °C de aumento de temperatura adicional, la vida útil esperada se reduce a la mitad (propuesta por Arrhenius en 1889). Esta regla también opera en sentido positivo, es decir, si se da una disminución de la temperatura, la vida útil aumentará. Es por esto que los motores eléctricos tienen una vida útil mayor que 20.000 horas, ya que normalmente operan por debajo de su máximo aumento de temperatura. Algunas investigaciones recientes, indican que la regla de los 10 °C no es tan precisa en algunas clases de aislamiento, y más bien se podría aumentar un poco la temperatura indicada en la regla (es una buena noticia para los usuarios de motores).

Para ilustrar los conceptos revisados, se presentan las Tablas 2 y 3, que incluyen datos reales reportados en la literatura técnica.

Tabla 2 Comparación de vida útil esperada para un motor en distintos niveles de carga

Potencia nominal	Carga en %	Potencia entregada	Aumento de temperatura	Vida útil esperada (en p.u.)
1000 HP	115 %	1150 HP	90 °C	1.0 (base de comparación)
1000 HP	100 %	1000 HP	71 °C	3.8
1000 HP	75 %	750 HP	48 °C	19.5
1000 HP	50 %	500 HP	35 °C	> 20.0

Tabla 3 Comparación de vida útil esperada para distintas clases de aislamiento y aumento de temperatura

Clase de Aislamiento	Temperatura Total	Aumento Temperatura Medida en Devanado del Motor	Vida Útil Esperada (en p.u.)
B	130 °C	90 °C	1.0
F	155 °C	115 °C	1.0
F	155 °C	90 °C	6.0
F	155 °C	70 °C	> 20.0

De la Tabla 2 se puede concluir que si un motor opera sin usar su factor de servicio (1.15), tendrá un aumento de temperatura de 71 °C, y la vida útil esperada será de casi 4 veces más de la que tendría si se usa el factor de servicio. De la Tabla 3 se puede notar que al operar un motor de clase aislamiento F a su aumento de temperatura máximo tendrá una vida útil de 1.0, como base de comparación. Pero si el motor no se calienta al aumento máximo, sino que a 90 °C, la vida útil esperada aumentará 6.0 veces.