

motor tico

BOLETÍN BI-MENSUAL PREPARADO POR WWW.MOTORTICO.COM, COSTA RICA



NOVIEMBRE-DICIEMBRE 2016

Termografía en la prueba de núcleos laminados de máquinas rotativas

Las máquinas eléctricas rotativas están formadas fundamentalmente por dos partes, que son: una rotativa, llamada rotor; y otra que permanece estática, llamada estator. Cada parte cuenta con un núcleo formado a partir de láminas de fierro magnético, apiladas entre sí, pero separadas eléctricamente unas de otras por medio de un aislante interlaminar, de tipo inorgánico.

Mientras que el núcleo parece ser un componente sólido y robusto, los cientos de láminas y espaciadores asociados, junto con los dispositivos de sujeción, dejan muchas oportunidades para que se presenten fallas. La situación se complica porque durante la operación de la máquina rotativa (motor o generador), el núcleo es sometido a elevadas fuerzas de vibración y temperatura, junto con la posibilidad de presentarse daños eléctricos y mecánicos. El daño mecánico por lo general será obvio durante las rutinas de inspección, pero puede ocurrir en formas no fácilmente detectables. Por su parte, las averías eléctricas pueden ser fácilmente visibles en la superficie, pero, alternativamente, puede estar profundamente dentro del núcleo. La falta de sujeción y rigidez también puede ocurrir en áreas y condiciones que hacen difícil su observación. Por lo tanto, se recomienda que cuando la máquina requiera una reparación mayor, se realice una verificación de la condición del núcleo magnético laminado. La prueba al núcleo que se revisa en este artículo es conocida como Loop Test (prueba de toroide), y es efectiva para determinar las pérdidas magnéticas, así como detectar daños en zonas puntuales del núcleo conocidos como puntos calientes. Esta prueba se realiza durante el proceso de reparación de máquinas rotativas, ya que no es posible establecer la condición del núcleo de manera en línea (online).

Prueba de núcleos laminados de estator

El núcleo de estator permite el flujo magnético en el sentido radial. En éste las láminas se traslapan para formar un cilindro donde las ranuras son troqueladas, junto con los elementos de sujeción y ductos de ventilación. Si bien, en la periferia del núcleo las láminas pueden unirse entre sí (y perder el aislamiento interlaminar por procesos de soldadura), esto no es factible en la zona adyacente a las ranuras, ya que el flujo magnético se concentra principalmente en esta zona, al interior del núcleo.

Durante la prueba de loop test se establece un nivel específico de magnetización, por medio de una bobina toroidal alimentada con una fuente monofásica regulable. Gracias a la circulación de corriente se inducen a su vez corrientes dentro de las láminas que estimulan las pérdidas y con esto se genera calor. La condición del núcleo puede ser determinada a partir de la temperatura de levantamiento y el análisis de la potencia de entrada (medida en Watts). En el procedimiento de la prueba se define el número de vueltas de la bobina toroidal y la corriente circulante, que definirán así el nivel de flujo magnetizante, el cual se establece en un nivel similar al de operación normal de la máquina. Durante la prueba se analizan dos aspectos fundamentales, estos son:

- El nivel de pérdidas del núcleo en unidades de Watts/kilogramo [W/kg], por medio de un cálculo matemático, las cuales no deben superar cierto valor (según el tipo de máquina). Para este cálculo se usa la medición de potencia de entrada. En caso de superarse el nivel máximo recomendado, se sugiere considerar la conveniencia de no reparar la unidad.
- La detección de puntos calientes o hot spot dentro del núcleo, los cuales se originan por la pérdida del aislamiento interlaminar, y como consecuencia se producen corrientes circulantes en la sección dañada. La Fig. 1 ilustra un hot spot, el cual puede producirse luego de una falla de corto circuito o por rozamiento rotor-estator. Un núcleo con hot spots pone en riesgo la vida útil del sistema de aislamiento del devanado, en el corto plazo. Por ejemplo, hay evidencia documentada de que una máquina con hot spots puede fallar en los primeros 4-6 meses de operación.

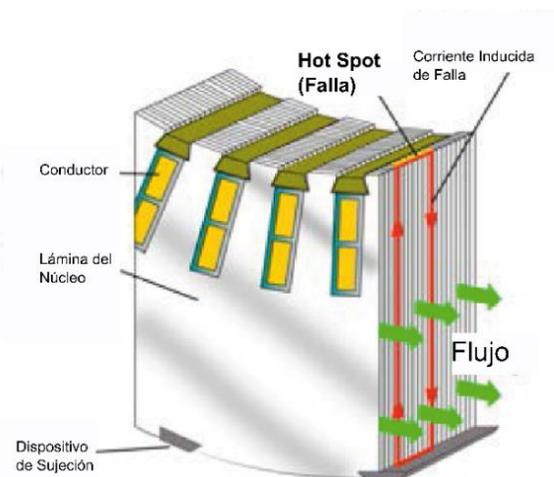


Figura 1 Núcleo magnético mostrando una sección con un hot spot

Durante la prueba de loop test es importante seguir el comportamiento de la temperatura del núcleo. Así, en un núcleo sin daños, la temperatura superficial será prácticamente uniforme, en un rango de tiempo de 30-45 minutos de prueba. Cabe destacar que la velocidad de levantamiento de temperatura varía con el tamaño de la máquina. Por el contrario, un núcleo con hot spots rápidamente alcanza temperaturas mayores a 100°C en la zona dañada, con tiempos de levantamiento cortos. Para estos propósitos se recomienda utilizar la técnica de termografía.

Uso de la termografía durante la prueba de núcleos

La práctica actual sugiere que durante la prueba del núcleo se realice la inspección por medio de una cámara termográfica, siendo ésta una técnica que permite la medición y visualización, con la suficiente precisión, de las temperaturas en diferentes puntos de la superficie en revisión. La ventaja de usar la termografía es que esta presenta un registro gráfico de la temperatura en el núcleo, con la posibilidad de hacer un análisis detallado de alguna zona con posible hot spot. Por lo tanto, zonas con fallas localizadas serán evidentes durante la medición de temperatura, ya que un hot spot calentará mucho más rápido que aquellas sin daño. Tomar en cuenta que un hot spot cerca de la ranura puede ser detectado en los primeros minutos de la prueba, mientras que aquellos en zonas profundas pueden necesitar más tiempo para ser registrados por la cámara.

En contraste, existen otras técnicas disponibles, como el uso de termómetros por infrarrojos o de contacto, que muestran zonas puntuales y requieren de un barrido completo para para el análisis de un núcleo. La ventaja de la cámara termográfica es que puede hacer análisis sobre zonas completas. Además, se pueden registrar imágenes al inicio y final de la prueba, para ser usadas en posteriores análisis. Sin embargo, para la visualización de los defectos se requiere un manejo cuidadoso de esta técnica, la cual depende de varios factores, que incluyen: las características del material evaluado (en este caso hierro magnético), las condiciones ambientales y el ajuste de la sensibilidad en la cámara.

Esta técnica aplicada a la prueba de loop test se clasifica como *Termografía Activa*, donde la inspección se refiere a un objeto, que está inicialmente en equilibrio térmico con el entorno, y a continuación, una cierta cantidad de energía se introduce en este para producir el contraste térmico que resalte la característica de interés. Por el contrario, la *Termografía Pasiva* se lleva a cabo en los componentes que, en condiciones de operación normal, presentan un levantamiento de temperatura, y se realiza como análisis de buen funcionamiento.

Estudio de caso

Para ilustrar la aplicación de la termografía a la prueba de loop test se revisa el caso del siguiente motor eléctrico fallado. Los datos se registran en la Tabla 1.

Potencia	6000HP
Tensión	13.8 kV
Polos	2
Tipo	Inducción Jaula de Ardilla
Aplicación	Compresor

Tabla 1 Ficha técnica del motor en prueba

El motor presentó una falla de corto circuito a tierra en la bobina de entrada a la fase, provocando una erosión de un grupo de láminas del núcleo. Este daño derivó a su vez en un punto caliente, el cual fue detectado durante la inspección visual del núcleo de estator, y confirmado en la prueba de loop test con termografía. En la Fig. 2 se muestra la imagen de la prueba del estator, donde se puede notar en la pantalla de la cámara una zona roja, al centro, la cual corresponde a la zona fallada.



Figura 2 Prueba de termografía durante el loop test

Basado en la prueba, se desarrolló una estrategia de reparación para el núcleo, la cual consistió en la intervención de la zona dañada, para devolver la aislación interlaminar. La prueba de verificación, posterior a la reparación, indicó que el hot spot ya no estaba presente.

En caso de no haberse realizado la reparación, previo al rebobinado, en pocos meses el motor hubiese presentado una falla en el mismo punto, producto del excesivo calor.