



## Conservación del aislamiento de estatores devanados - mecanismo de pista de superficie

Fernando Roberto Spezia  
Especialista en Procesos Eléctricos y Sistemas de Aislamiento

Fredemar Runcos, PhD  
Consultor en P, D & I de Máquinas Eléctricas Rotativas

Friedrich Weege  
Consultor en Procesos de Fabricación para Máquinas Eléctricas Rotativas

Waldiberto de Lima Pires  
Gestor de Tecnología de Producto

### 1. INTRODUCCIÓN

Las máquinas eléctricas rotativas deben asegurar el suministro de energía, mecánica (en el caso de los motores) o eléctrica (en el caso de los generadores), requerida por las distintas actividades existentes. Las industrias básicas, intermedias o de bienes de consumo dependen de alguna manera del funcionamiento de estas máquinas.

¡El sistema de aislamiento es una parte vital de una máquina eléctrica giratoria! Su durabilidad es crucial para la vida útil de la máquina y, como consecuencia, impacta directamente en la robustez y confiabilidad de los procesos.

Hay varios factores que influyen en la durabilidad de un sistema de aislamiento. En servicio, en condiciones ideales de funcionamiento, algunos factores de desgaste son inherentes, lo que hace que el aislamiento se degrade lentamente, como se esperaba, sin perjuicio de su vida útil. Sin embargo, en condiciones de operación no ideales, la degradación del aislamiento puede ocurrir a un ritmo acelerado, lo que reduce la vida útil de la máquina.

Entre los factores que pueden acelerar la degradación del aislamiento, lo que lleva a fallas prematuras, se encuentra el mecanismo conocido como seguimiento de superficie, que se analiza aquí. Es, entre otras cosas, una consecuencia de la acumulación de contaminantes en la superficie del devanado de la máquina.



Figura 1: De izquierda a derecha, evolución del mecanismo de seguimiento de la superficie



## 2. ACUMULACIÓN DE CONTAMINANTES EN LA SUPERFICIE DE AISLAMIENTO

Dependiendo de las características constructivas de las máquinas, algunos entornos operativos pueden ser hostiles al sistema de aislamiento. Por tanto, asignar el grado de protección correcto de la máquina, así como monitorear y asegurar la limpieza de su bobinado, son buenas prácticas que pueden evitar problemas graves, entre los que se incluye una posible falla catastrófica del aislamiento.

Las figuras 1 y 2 muestran un estator enrollado, sujeto a contaminación superficial en servicio. El polvo existente en el ambiente, incluso seco, una vez depositado sobre la superficie del aislamiento, favoreció la aparición de descargas parciales. Además, cuando se combinaba con la humedad, permitía la transferencia del potencial superficial de un punto a otro en las cabezas de las bobinas, ya que formaba una capa conductora de la electricidad.

En este caso, la combinación de contaminantes sólidos existentes en el medio ambiente con la humedad condujo al desarrollo del mecanismo de seguimiento de la superficie. Es la circulación de corriente en la superficie del aislamiento, la que acaba eliminando la humedad en los caminos por los que circula, creando zonas de menor conductividad eléctrica. Estas pequeñas islas que se forman están sometidas a altos campos eléctricos, como consecuencia del efecto de transferir el potencial eléctrico superficial de un punto a otro, dando lugar a descargas parciales en la superficie del aislamiento.

Las sucesivas descargas superficiales producen subproductos, que tienden a formar un camino conductor (carbonización), acercándose a puntos de potencial eléctrico muy diferentes, lo que puede resultar en un arco eléctrico, o flameo, que puede conducir a una rotura permanente del aislamiento.



Figura 2: Seguimiento de la superficie de aislamiento contaminada

## 3. DETECCIÓN PREVENTIVA DEL MECANISMO DE VÍA SUPERFICIAL

En base a lo que se ha discutido hasta ahora, está claro que el exceso de contaminantes en el devanado, en sí mismo, es indeseable. Sin embargo, no todos los devanados denominados “sucios” desarrollarán el mecanismo de seguimiento de superficie, ya que es necesario combinar algunos factores y características para ello.

Las inspecciones visuales periódicas son una buena herramienta para detectar la contaminación de la superficie en un devanado. Además, para evaluaciones más cuantitativas, se recomienda seguir la evolución del índice de polarización y resistencia de aislamiento (IEEE Std 43) periódicamente, cuando exista la oportunidad de detener la máquina.

El monitoreo de la actividad de descargas parciales en el estator (IEEE Std 1434 / IEC 60034-27-2) proporciona una buena sensibilidad a este tipo de mecanismo de degradación y se puede utilizar como una herramienta de decisión para la parada de la máquina y análisis adicional. La Figura 3 ejemplifica, para el caso abordado en este documento, cómo el diagnóstico de descargas parciales indicó claramente la existencia de descargas de magnitud relevante (~ 30 nC) en la superficie de los cabezales de las bobinas de bobinado. Cabe señalar que los patrones y magnitudes de las descargas parciales pueden ser significativamente diferentes según el caso.

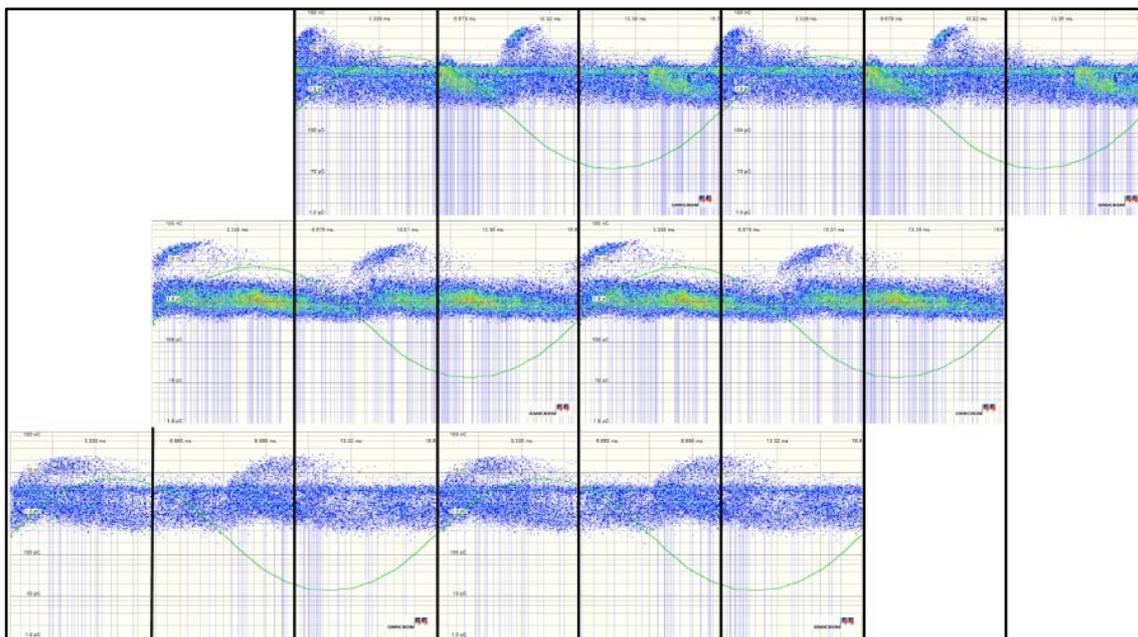


Figura 3: Ejemplo del patrón de descargas parciales en el estator discutido aquí (condición previa para seguimiento con carbonización).

#### 4. ACCIONES CORRECTIVAS

Cuando se detecta prematuramente, el desarrollo del mecanismo de seguimiento de la superficie se puede detener mediante una limpieza adecuada, seguida de un secado completo del devanado. Por el contrario, en caso de detección tardía, el método de corrección puede variar en nivel de dificultad, ya que puede ser necesario eliminar los caminos conductores ya existentes en la superficie de aislamiento, requiriendo un trabajo de reparación completo por un profesional capacitado. Por tanto, el análisis del estado del devanado por parte de un profesional especializado es obligatorio para definir el plan de acción.

#### 5. CONCLUSIÓN

Debido al mecanismo de seguimiento de la superficie, la presencia de algunos tipos de contaminantes en la superficie del aislamiento puede, por ejemplo, acercar el potencial de tierra a puntos con alto potencial eléctrico, sometiendo regiones de discontinuidad del aislamiento principal, como los terminales de la bobina, a campos eléctricos más altos de lo que se considera seguro. Esta condición puede causar una degradación acelerada del aislamiento y la consecuente falla prematura (vida reducida) de la máquina.

Por esta razón, el monitoreo continuo o las inspecciones periódicas del estado de la superficie del devanado son importantes y pueden evitar la necesidad de intervenciones importantes. Existen varias prácticas que se pueden adoptar para este fin, desde las más sencillas y económicas, como la realización de inspecciones visuales de los devanados, pasando por la medición de magnitudes eléctricas, para evaluar la Resistencia de Aislamiento y el Índice de Polarización del aislamiento, hasta las técnicas más sofisticadas, como el diagnóstico del comportamiento de descargas parciales en el devanado.