



## Por qué fallan las máquinas rotativas

Las máquinas rotativas, tales como los motores y generadores, son componentes clave de la generación eléctrica y de las aplicaciones industriales. Por tanto, es muy importante la confiabilidad y disponibilidad de la máquina. Una falla prematura puede producir interrupciones de servicio imprevistas y posibles daños en el propio activo, lo que da como resultado notables pérdidas económicas.

Para planificar eficazmente el mantenimiento, es esencial contar con información precisa sobre el estado de la máquina para saber cuándo necesitan reparación o sustitución sus componentes.

### Por qué fallan las máquinas rotativas

Existen varios métodos y cálculos para evaluar los componentes críticos de una máquina. El método más práctico consiste en evaluar las encuestas sobre la experiencia de los diferentes operadores de máquinas en diversos segmentos. Un ejemplo es el estudio sobre las fallas de los hidrogenadores del grupo de trabajo A1.10 del CIGRE. El resultado de la encuesta se presenta en la figura 1a. Según 16 operadores con una flota total de 1.199 hidrogenadores localizados en todo el mundo, la causa más común de las fallas de las máquinas son los daños del aislamiento. El daño del aislamiento en sí mismo tiene causas específicas que se indican en la figura 1b. Explicaremos cómo se miden y detectan estos problemas comunes en las máquinas eléctricas rotativas.

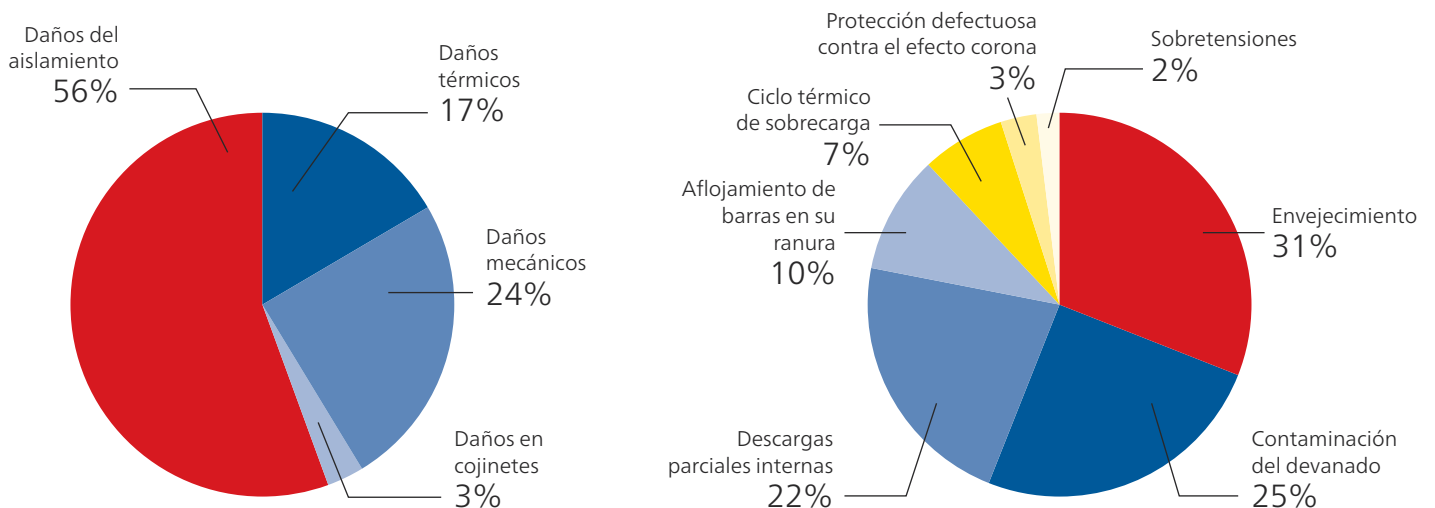


Figura 1a (izquierda): Estudio sobre las causas de las fallas en los hidrogenadores

Figura 1b (derecha): Causas de los daños en el aislamiento

Fuente: Brüttsch et al. "Insulation Failure Mechanisms of Power Generators"

(Mecanismos de falla en el aislamiento de los generadores eléctricos), DEIS julio/agosto 2008

### Esfuerzo combinado del aislamiento - TEAM

Las máquinas rotativas se enfrentan a muchos factores de esfuerzo periódicos y continuos durante su vida, tal como el térmico, eléctrico, ambiental y mecánico, abreviados como TEAM.

- > **Térmico:** Muchos cambios de temperatura conducen a un envejecimiento prematuro del aislamiento.
- > **Eléctrico:** La tensión y la actividad de descargas parciales (DP) durante el funcionamiento provocan un esfuerzo constante del aislamiento.
- > **Ambiental:** Incluye la humedad, productos químicos agresivos y reactivos (gases, ácidos) y partículas extrañas (piezas metálicas, cenizas, carbonización, lubricantes).
- > **Mecánica:** Fuerzas electrotécnicas en la ranura y en la zona del devanado final, así como diferentes niveles de expansión térmica.

### Estructura del aislamiento

El aislamiento de las máquinas eléctricas rotativas de media y alta tensión, se enfrentan a diferentes compromisos, entre los cuales se encuentran soportar la fuerza del campo eléctrico, asegurar la estabilidad mecánica y conducir el calor del cobre al sistema de refrigeración de la máquina.

Como resultado, los fabricantes a menudo utilizan un sistema de aislamiento compuesto como se muestra en la figura 2. El aislamiento principal o el aislamiento a tierra de la máquina, esta compuesto de mica en combinación con una resina epoxi. Esta es la zona donde se produce el mayor esfuerzo eléctrico. Además, el sistema de aislamiento tiene algunas capas conductoras o semiconductoras para asegurar potenciales definidos en las interfaces entre diferentes materiales. Un ejemplo de esto es la protección exterior contra el efecto corona para asegurar un potencial de tierra uniforme en la superficie del aislamiento. Las máquinas más grandes también tienen una compensación de potencial final y a menudo una protección anticorona interna.

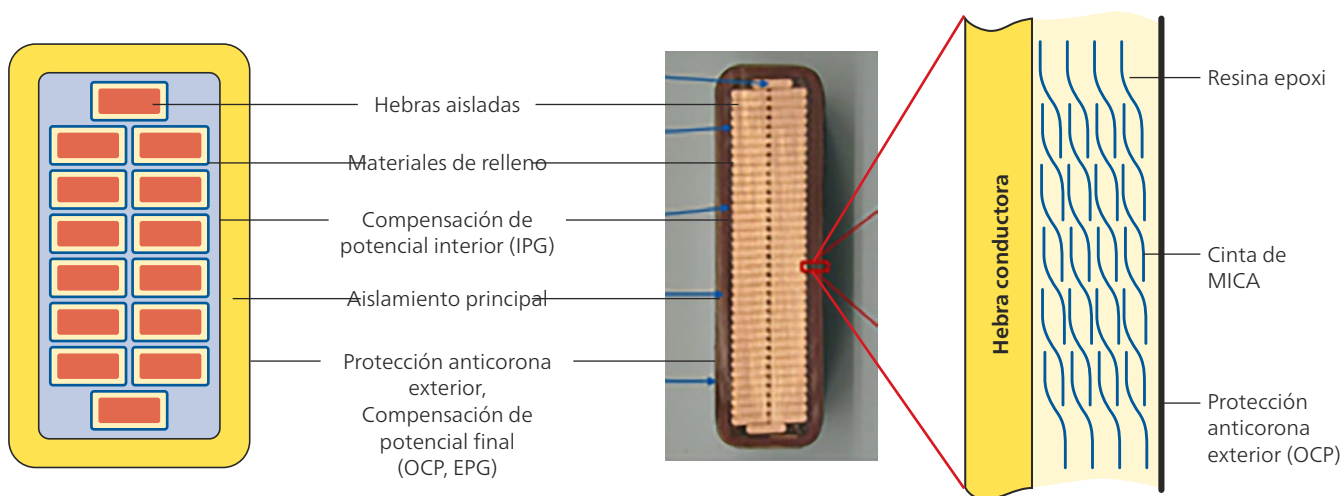


Figura 2: Estructura del aislamiento de una máquina de alta tensión

### Defectos más comunes del aislamiento de la pared del suelo en los devanados de estator

#### Cavidades

Un cierto nivel de huecos o cavidades en el aislamiento de epoxi/mica es el resultado del proceso de fabricación y es una situación normal. Como cada fabricante tiene diferentes procesos de producción, el nivel de estos pequeños defectos también difiere en las máquinas nuevas. Con el tiempo se desarrollarán cavidades adicionales debido a los esfuerzos TEAM mencionados anteriormente.

Soportar pequeñas cavidades a lo largo del tiempo no supone ningún problema para un sistema de aislamiento correctamente fabricado. Sin embargo, estas pequeñas cavidades constituyen una fuente de DP, lo que puede resultar en mayores defectos del aislamiento. El desarrollo de tal defecto lleva mucho tiempo, por lo que el estado de estas descargas parciales debe ser comprobado a lo largo del tiempo.

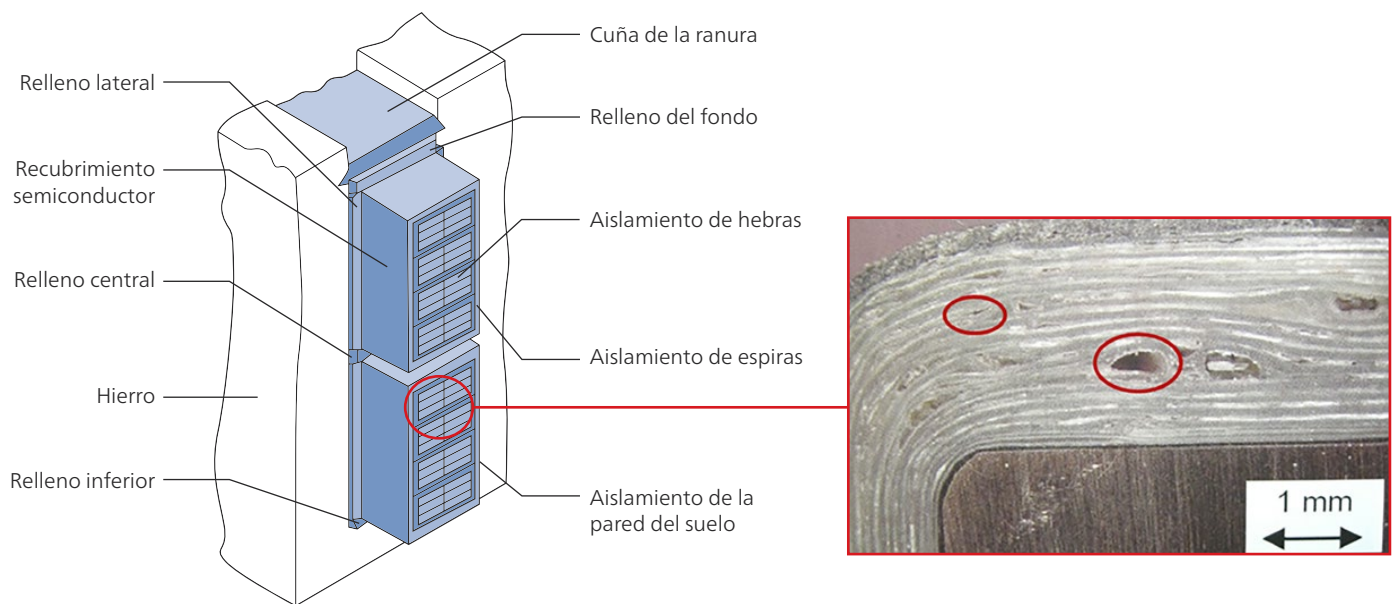


Figura 3: Estructura del aislamiento y vista microscópica de grandes huecos en el aislamiento de la pared del suelo

Fuente: Vogelsang et al. "Performance testing of high voltage generator- and motor insulation" (Pruebas de desempeño del aislamiento de generadores y motores de alta tensión), diciembre de 2005

### Deslaminación

La delaminación, también conocida como desunión del aislamiento, implica la formación de grandes cavidades entre capas de aislamiento. Además, la delaminación también puede producirse entre el cobre y la capa de aislamiento principal.

La delaminación da lugar a una mayor actividad en comparación con la actividad de DP relacionada con cavidades. Las principales razones de estas delaminaciones son las tensiones mecánicas causadas por los diferentes materiales y/o los ciclos de temperatura durante el funcionamiento normal.

### Bobinas o barras sueltas

Las fuerzas electromecánicas interactúan constantemente con el devanado. Si el sistema de fijación del devanado se vuelve defectuoso con el tiempo, o no se aplicó correctamente, se desprende. Así, la protección anticorona exterior es atacada y desgastada. Si no se detecta el defecto, la vibración también comienza a deteriorar el aislamiento principal, lo que resultará en una avería de la máquina. El defecto tiene una firma característica en forma de DP y puede identificarse mediante las mediciones de las DP.

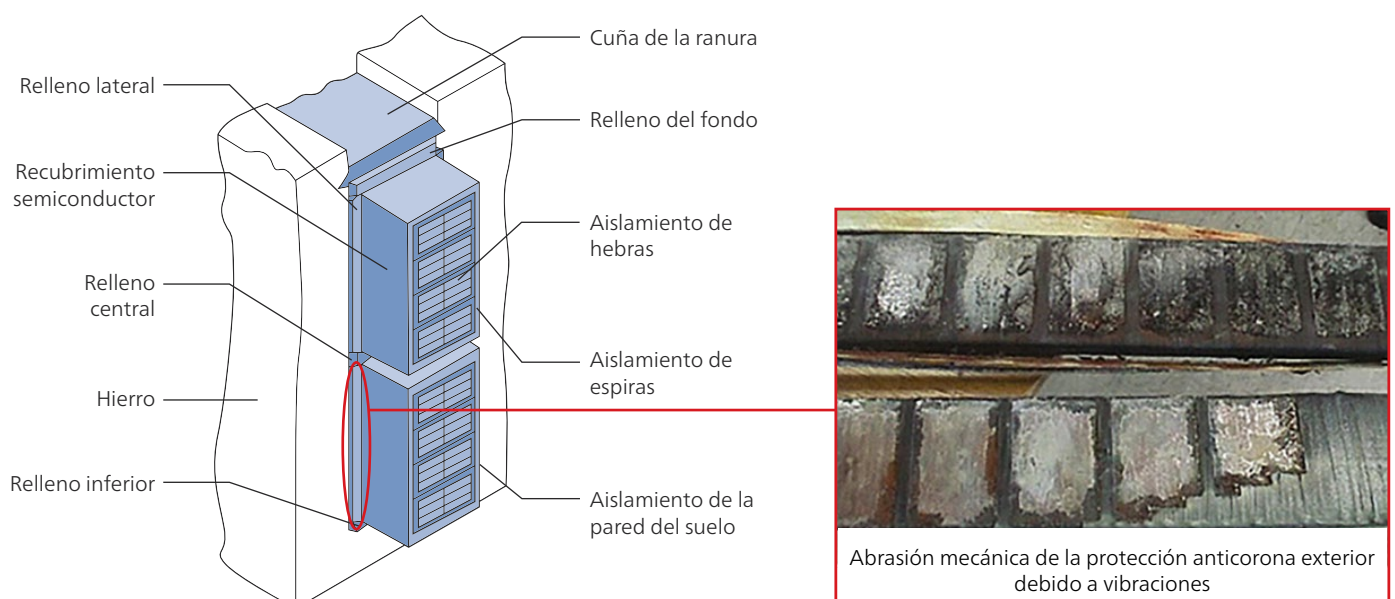


Figura 4: Estructura del aislamiento y síntomas típicos de la vibración de la barra.





### La contaminación y las distancias imperfectas en la zona del devanado final

Los problemas de construcción, como las distancias imperfectas (separador de fase) o la contaminación del devanado, dan lugar a actividad de DP en la zona del devanado final. Otros problemas comunes en esta parte del devanado son la debilidad de conexión entre dos protecciones, la protección anticorona exterior y la compensación de potencial final. Un ejemplo de contaminación y de la actividad de DP se muestra a continuación (figura 5).

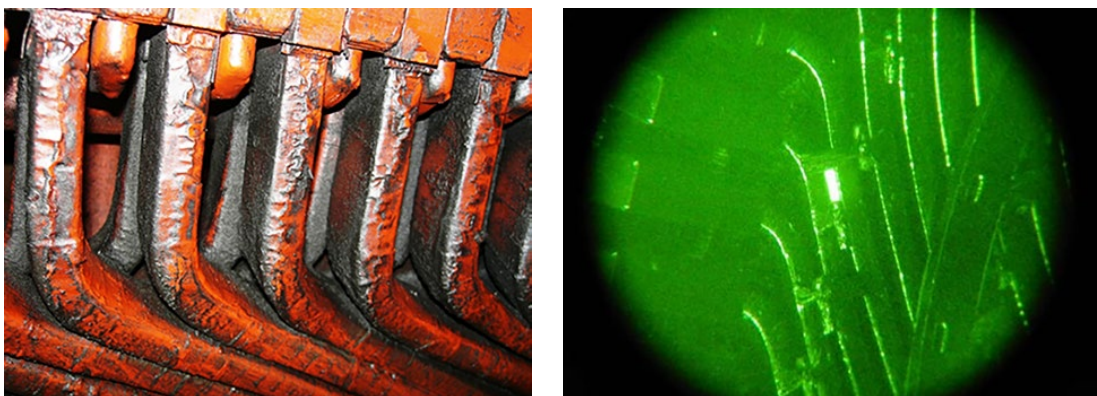


Figura 5: Ejemplos de contaminación y actividad de DP en la sección del devanado final

Los temas tratados anteriormente están relacionados con el aislamiento principal. También se ven afectados otros componentes de las máquinas rotativas por diferentes problemas. Algunos ejemplos pueden ser:

- > Cortocircuitos entre espiras
- > Problemas de conexión (contacto)
- > Hebras paralelas interrumpidas
- > Mala soldadura de los contactos

### Extensión de la vida útil prevista

Las máquinas rotativas, como todos los demás activos de la red eléctrica, tienen una cierta vida útil prevista. Como se ha mencionado, las influencias negativas, tal como el esfuerzo térmico, ambiental, mecánico y eléctrico provocan una reducción de la vida útil.

Para evitar averías e interrupciones de servicio de las máquinas rotativas, es vital el mantenimiento regular o periódico. Diferentes medidas de diagnóstico permiten evaluar el riesgo para planificar adecuadamente el mantenimiento en función del estado de la máquina.

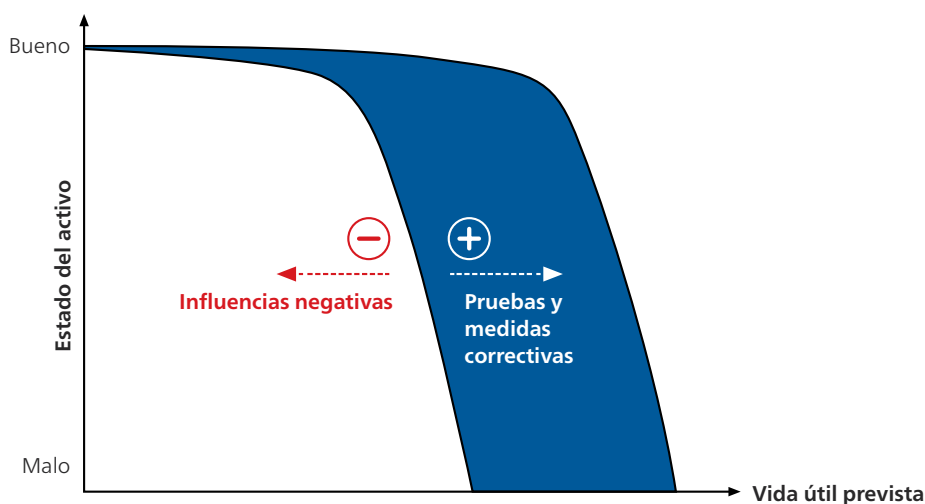


Figura 6: El concepto idóneo de extender la vida útil con un mantenimiento en función del estado

### Vista general de la prueba

La siguiente tabla ofrece una visión general de los problemas más comunes y los métodos de prueba eléctrica utilizados para detectarlos.

Pieza de la máquina probada	Lo que debe comprobarse	Pruebas eléctricas recomendadas										
Devanado de estator	Descargas parciales (DP)	■	■	■								
	Contaminación	■	■	■		■					■	
	Degradación del aislamiento	■	■	■		■					■	
	Tensión no disruptiva				■							
	Integridad del aislamiento				■	■					■	
	Problemas de conexión						■					
	Fallas entre espiras										■	
Devanado de rotor	Fallas entre espiras								■	■		
	Alta resistencia de contactos							■				
Núcleo del estator	Imperfección del núcleo											■

Mediciones de capacitancia, factor de disipación (tan δ) / factor de potencia

Medición de descargas parciales (DP)

Monitoreo en línea de DP

Pruebas de tensión no disruptiva

Mediciones de resistencia de aislamiento, índice de polarización y relación de absorción

Medición de la resistencia del devanado de CC

Medición de la resistencia de contacto

Pruebas de caída de polo

Análisis de respuesta en frecuencia de barrido

Análisis de respuesta dieléctrica

Pruebas de imperfecciones electromagnéticas

Tabla 1: Problemas comunes en las máquinas eléctricas rotativas y los métodos de prueba correlativos para detectarlos