



TYN SERVICIOS
INGENIERÍA & MANTENIMIENTO

DESCARGAS PARCIALES EN MAQUINAS ROTATIVAS

Ing. Ricardo A. Chávez Cortez

Junio - 2023





1. INTRODUCCION.

Los Sistemas de Aislación Estatóricos (SAE) de las Máquinas Eléctricas Rotantes (MER), se encuentran sometidos a diferentes agentes de degradación de origen:

- Térmico.
- Eléctrico.
- Ambiental y Mecánico (TEAM).

los cuales pueden ser de acción temporal o permanente. Estos agentes están presentes desde el primer día de funcionamiento de los motores/generadores y se combinan entre sí acelerando el proceso de degradación y disminuyendo las propiedades dieléctricas del sistema de aislación de los activos.

Las Descargas Parciales (DP) se manifiestan en un primer momento como una degradación incipiente del SAE, para pasar en etapas más avanzadas, a tener un efecto sinérgico en el proceso de degradación. De esta manera la determinación del tipo de DP, su magnitud y la evolución de éstas a lo largo del tiempo, ha demostrado ser una efectiva herramienta para el diagnóstico de condición de los SAE de MER.





1. INTRODUCCION.

Sin embargo, para un diagnóstico integral de la máquina es necesario complementar el análisis de DP con la realización de otros ensayos (resistencia de aislación, índice de polarización, factor de disipación, TipUp, entre otros) y verificaciones además de una inspección visual detallada del activo y sus subsistemas.





2. ENSAYOS DE DESCARGAS PARCIALES.

El ensayo de DP como herramienta de diagnóstico de SAE de MER ha sido perfeccionado por más de 40 años, lográndose un avance significativo con la implementación de herramientas digitales para el post procesamiento de las señales relevadas.

El estándar IEEE 1434 [1] define:

“Una DP es una descarga eléctrica que sólo en forma parcial se establece a través del sistema de aislación. Se origina debido a la ionización gaseosa transitoria que ocurre en un sistema de aislación donde la concentración de campo eléctrico excede a la rigidez dieléctrica del medio, produciendo la ionización y descarga parcial consecuente”.





2. ENSAYOS DE DESCARGAS PARCIALES.

Por otro lado, una DP es un flujo transitorio de iones y electrones que viene acompañado de manifestaciones físicas como pulsos eléctricos y de radio frecuencia (RF), emisión acústica, luz visible y reacciones químicas del medio aislante, particularmente, producción de ozono en el caso de que el medio sea aire. De esta manera, existen varios métodos de detección, medición y análisis de las DP.

En este documento se describirán particularmente los diferentes tipos de DP que pueden presentarse en los SAE de MER de Corriente Alterna (CA) con tensiones nominales superiores a 3,3 kV





3. Tipos de Descargas Parciales.

En la mayoría de los equipamientos de Media y Alta Tensión y en las MER en particular, existen numerosas potenciales fuentes de DP. El diseño, los materiales aislantes empleados, los métodos de fabricación, las condiciones de operación y las prácticas de mantenimiento, pueden afectar de manera significativa la cantidad, ubicación, característica y evolución de las DP.





3.1. Descargas Parciales Internas.

Una de las fuentes más comunes de DP en los sistemas de aislación estatórico son las DP internas, las cuales se producen en pequeñas oclusiones gaseosas (vacuolas) internas al sistema de aislación.

En la sección de bobina de la Figura 1 se observan oclusiones gaseosas que luego serán los lugares donde se producirá la ionización localizada que derivarán en DP internas. Este tipo de DP está presente en las máquinas desde el primer día de funcionamiento y la acompañará toda su vida útil hasta sus últimos días de operación.

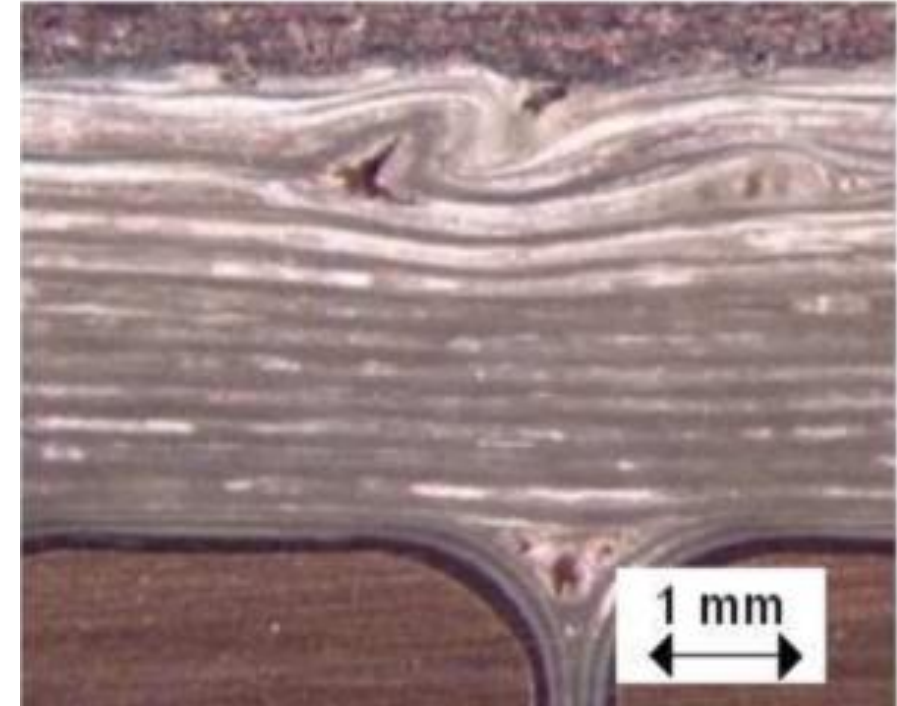


Figura N°1 *Micro vacuolas, origen de las DP internas*





3.1. Descargas Parciales Internas.

De esta manera, la acción degradante de este tipo de descargas es constante y su presencia puede considerarse “normal”, aunque debe diferenciarse de otro tipo de descargas internas, como son las provocadas por procesos de delaminación interna, las cuales se tratan a continuación.

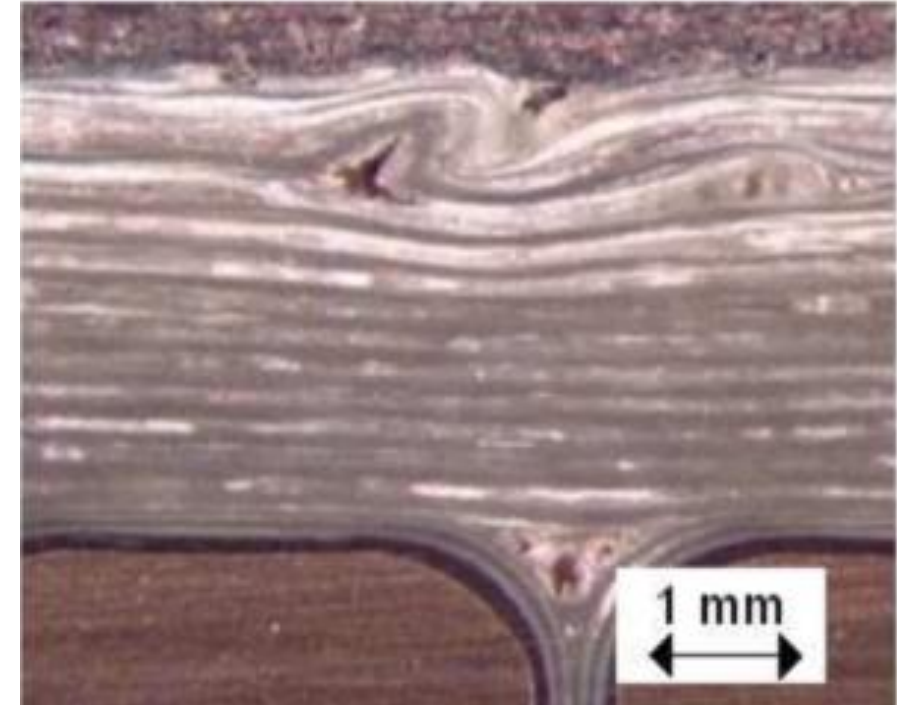


Figura N°1 *Micro vacuolas, origen de las DP internas*





3.2. Descargas por Delaminación Interna.

Existen dos tipos de delaminación, aquellas que se dan internamente entre capas de material aislante y las que se producen en la interface aislante-conductor.

Las primeras pueden originarse como consecuencia de un proceso de prensado y/o curado deficiente de las resinas o por estrés mecánico y/o térmico, en la Figura 2 se muestra un ejemplo de este tipo de delaminación [4].

La segunda forma de delaminación se produce cuando el encintado aislante se separa de la superficie de las pletinas de cobre que conforman el conductor eléctrico de las barras o bobinas, en este caso su origen se asocia al ciclado térmico.



Figura N°2





3.2. Descargas por Delaminación Interna.

En ambos tipos de delaminación se produce una reducción en la conductividad térmica, debido a la presencia de espacios de aire, y por lo tanto podrían conducir a un envejecimiento localizado acelerado. De esta manera, este tipo de DP debe ser evaluada cuidadosamente, y se deberá realizar un estrecho seguimiento de su evolución.



Figura N°2





3.3. Descargas Parciales en Ranuras.

Existen dos tipos de DP que se producen en la zona de ranuras,

1. Originada por gradiente de campo eléctrico
2. Origen magnético producidas por corrientes superficiales de circulación axial.

En el primer caso, las DP de ranura se producen como consecuencia de interrupciones del recubrimiento semiconductor de las barras o bobinas en el tramo recto en la zona de ranuras.

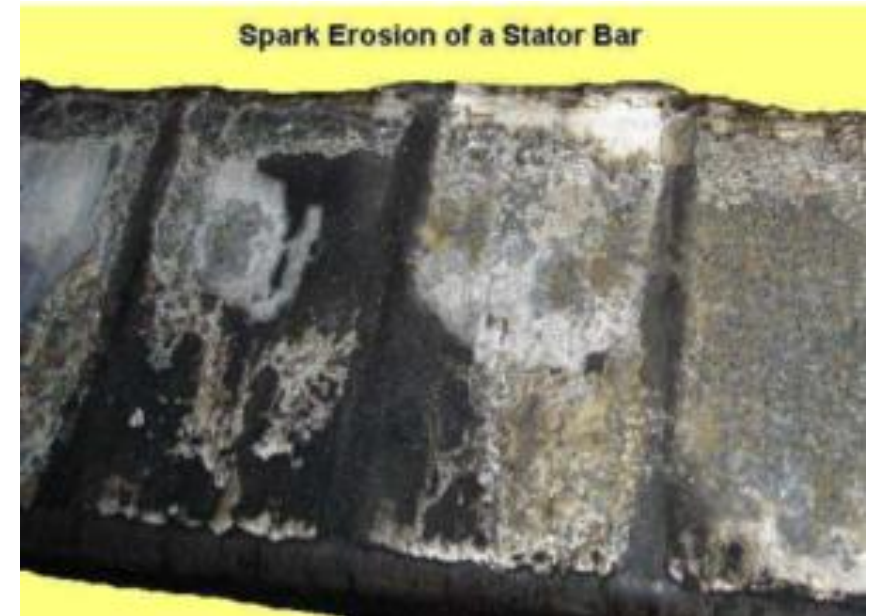


Figura N°3





3.3. Descargas Parciales en Ranuras.

Existen dos tipos de DP que se producen en la zona de ranuras,

1. Originada por gradiente de campo eléctrico
2. Origen magnético producidas por corrientes superficiales de circulación axial.

Estas interrupciones pueden tener origen en el mismo proceso de fabricación, por deficiencias en la calidad del material semiconductor empleado, inadecuado valor de resistividad superficial y abrasión mecánica por vibraciones del bobinado como consecuencia del aflojamiento de cuñas.

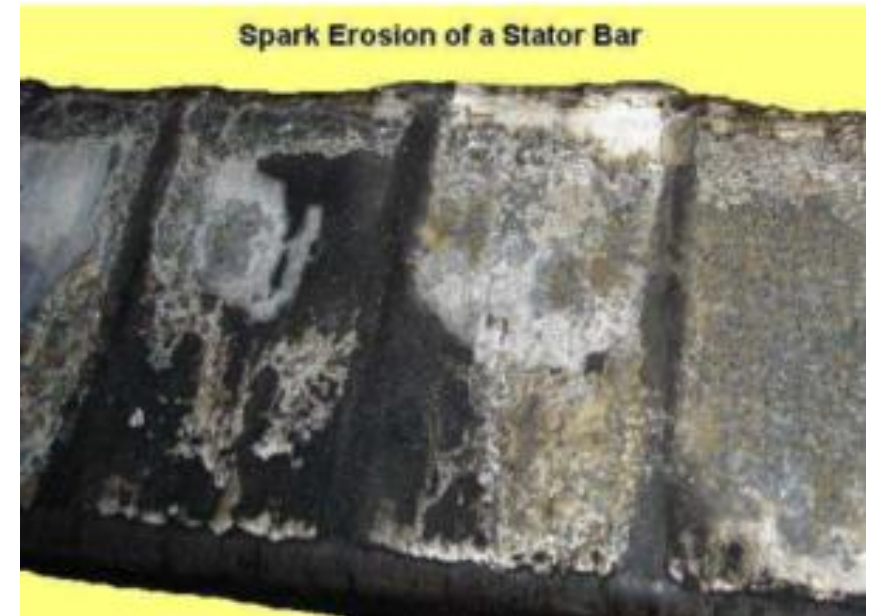


Figura N°3





3.3 Descargas Parciales en Ranuras.

El segundo tipo de DP, también conocidas como descargas de ranura de alta energía, se originan debido a la combinación de circulación axial de corrientes superficiales (las cuales son inducidas por el campo magnético variable del núcleo estático) y a la vibración de barras o bobinas en las ranuras como consecuencia de deficiencias en el ajuste de cuñas de cierre de ranuras.

El movimiento de las barras en las ranuras provoca la interrupción en la circulación de dichas corrientes, lo que produce arcos eléctricos que derivan en degradación del recubrimiento superficial del sistema de aislación.

En la Figura 3 [2] se observa un ejemplo de la degradación producida por las DP de ranura de alta energía, también conocidas como vibration sparking.

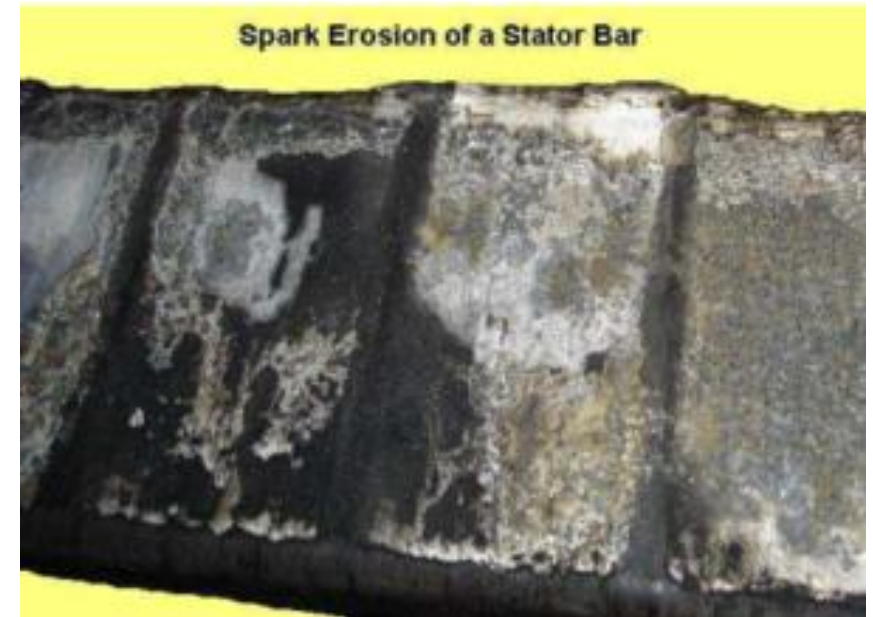


Figura N°3





3.3 Descargas Parciales en Ranuras.

Se advierte que las descargas de ranura que implican interrupción del recubrimiento semiconductor en combinación con elevados gradientes de campo eléctrico, se producen en las barras o bobinas cercanas a las salidas de fase, es decir, donde el bobinado tiene el mayor potencial eléctrico.

Por su parte las descargas de origen magnético, debidas a la interrupción de corrientes de circulación axial, pueden ocurrir en cualquier parte del bobinado, inclusive en las barras o bobinas cercanas a las salidas de centro de estrella, donde el potencial eléctrico es casi nulo [1].

En máquinas refrigeradas por aire, la existencia de DP de ranura viene acompañado de producción de ozono, como consecuencia de la ionización del aire.





3.3 Descargas Parciales en salidas de Ranuras.

El recubrimiento semiconductor de las barras o bobinas del estator, se extiende normalmente 2 a 3 cm más allá del borde del núcleo estatórico.

Seguidamente se realiza un solapamiento de 1 cm con un recubrimiento graduador de potencial cuya función es producir una transición de medios (núcleo – aire) controlada, manteniendo la concentración de campo eléctrico por debajo de la rigidez dieléctrica del aire.

El recubrimiento graduador de potencial, posee una característica particular, relacionada con el hecho de que su resistividad superficial es no lineal (varía con la concentración de campo eléctrico), de tal modo que se presenta con elevada resistencia superficial cuando el campo eléctrico es bajo y baja resistividad superficial cuando el campo eléctrico es alto (en la región de solapamiento) [6].





3.3 Descargas Parciales en Cabezas de Bobinas.

Las DP se pueden producir en las cabezas de bobinas, puentes de conexión y barras colectoras de fase como consecuencia de la contaminación superficial y/o al espaciado insuficiente entre las barras o bobinas consecutivas (consecuencia de un diseño inadecuado de las cabezas de bobinas). De esta manera, las descargas producidas por contaminación superficial son conocidas como *tracking* y en máquinas de elevada tensión nominal, puede conducir a una rápida falla de aislación.



Figura N°4





3.3 Descargas Parciales en Cabezas de Bobinas.

En máquinas refrigeradas por aire, la contaminación superficial normalmente es una combinación de polvo ambiente, humedad y aceite que se ha filtrado a través de los sellos de cojinetes.

Adicionalmente en centrales térmicas la polución ambiental se manifiesta en la superficie del bobinado estático a través de depósitos de polvo de carbón (cenizas).



Figura N°4





4. Diagnostico de DP en Máquinas Rotativas.

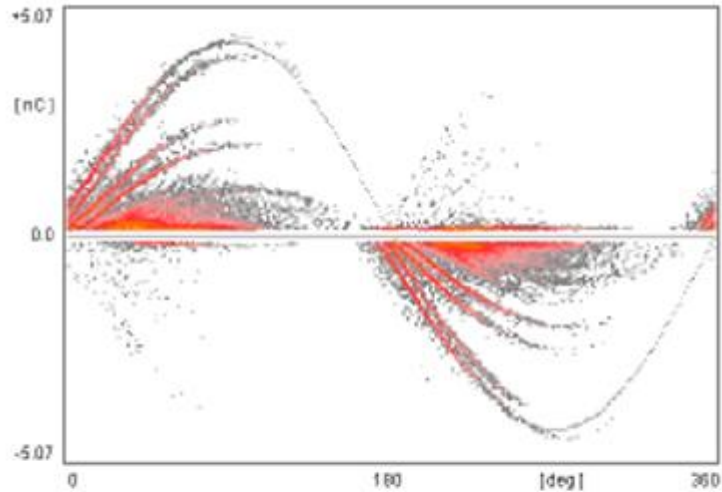
Por lo general, las correctas mediciones de descargas parciales en grandes generadores, presentan como resultados, la existencia no de una, sino de múltiples fuentes activas de degradación (lugares / defectos), todas ellas actuando en forma simultánea sobre la aislación de una misma máquina.

Cada una de estas fuentes de degradación, serán reconocidas o clasificadas por su propia “figura patrón”; pero en una maquina real, todos estos distintos patrones individuales - que representan unitariamente a cada defecto que posee, se superpondrán entre si, y quedarán ocultos tras un patrón resultante, mucho más complejo de identificar, y de más difícil interpretación.





4. Diagnostico de DP en Máquinas Rotativas.



Simple identificación de un defecto por medio de su imagen patrón. Figura patrón típica que representa a distintas descargas gaseosas internas en un bobinado.

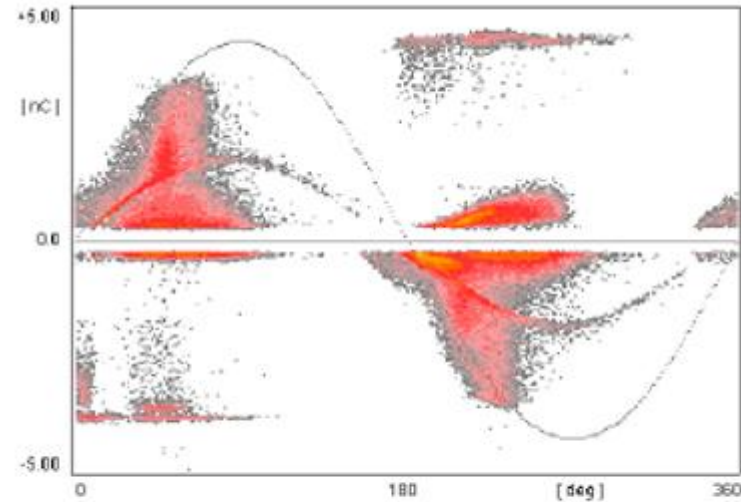


Figura patrón final que representa a múltiples fallas en una misma maquina; todas ellas superpuestas. Compleja identificación de cada defecto.





TYN SERVICIOS
INGENIERÍA & MANTENIMIENTO

4.1 El Factor Desconocimiento.

Un principio básico de la especialidad, dice que:

“medir descargas parciales en valores de nano-Coulombs, no es un sinónimo de diagnóstico”.





4.1 El Factor Desconocimiento.

Al finalizar una medición rutinaria de descargas parciales, el desconocimiento y la “practicidad” urbana, intentan de alguna manera simplificar las cosas, realizando por lo general tres preguntas básicas:

1º Cuantos nano-Coulombs presentó la maquina?

2º Es eso mucho o poco?

3º Entonces la maquina está bien, o está mal?

Por el contrario, muy pocos supervisores o dueños de maquinas, hacen las preguntas correctas y necesarias, al menos para formarse una idea inicial del estado de su maquina, y para constatar si las mediciones efectuadas han sido las correctas y requeridas.





4.1 El Factor Desconocimiento.

Algunas de ellas serían:

1º Cual ha sido la frecuencia de repetición de las descargas ?.

2º Que patrones de descargas presentó y a que tensiones de prueba ?.

3º Que mecanismos de degradación están afectando a la aislación en forma conjunta, y en que etapa de avance se encuentran cada uno de ellos?

4º Las mediciones han sido efectuadas en modo “fase resuelta” o no (#)?.





5. Conclusión.

Las mediciones de DP son cada vez más utilizadas para evaluar la condición de un sistema de aislación de alta potencia. En máquinas de uso continuo, las mediciones de DP ayudan a tomar decisiones de mantenimiento, y a extender su vida útil.

Los métodos modernos de producción, y los sistemas de aislación optimizados, así como también los esfuerzos de mantener un bajo costo, requieren una atención especial para lograr un funcionamiento estable de la aislación.





6. Referencias.

- [1] «IEEE Std 1434-2014 Guide for the Measurement of Partial Discharges in AC Electric Machinery».
- [2] «IEC 60034-27 Off-line partial discharge measurements on stator winding insulation of rotating electrical machines,» 2006.
- [3] «IEC 60270-2000 High Voltage Test Techniques – Partial Discharge Measurements».
- [4] R. Bruetsch, M. Tari, K. Froehlich, T. Weiers y R. Vogelsang, «Insulation Failure Mechanisms of Power Generators».
- [5] J. E. Timperley, «Identification of Vibration Sparking With EMI Diagnostics,» Doble Engineering.
- [6] G. C. Stone, I. Culbert, E. A. Boulter y H. Dhirani, Electrical Insulation for Rotating Machines – Design, Evaluation, Aging, Testing and Repair, Willey – IEEE Press, 2014.
- [7] «CIGRÉ Strudy Committee CS11 – Hydrogenerator Failures – Results of the Survey,» EG11.02, 2003.

