

# motor tico

BOLETÍN BI-MENSUAL PREPARADO POR [WWW.MOTORTICO.COM](http://WWW.MOTORTICO.COM), COSTA RICA

MARZO-ABRIL 2017

## Efecto de la humedad relativa sobre las descargas parciales en máquinas eléctricas rotativas

Por: Julio Sepúlveda N. - Ariel Toro M., Ferroman S.A. (Chile) y Oscar Núñez M., Motortico.Com (Costa Rica)

*El monitoreo off-line de descargas parciales es una técnica efectiva de mantenimiento predictivo para generadores y motores eléctricos con tensiones nominales por encima de 3kV. El uso de esta herramienta de monitoreo por condición puede promover acciones correctivas planificadas y ejecutadas adecuadamente, que eviten tiempos de inactividad no programadas. Por lo tanto, siempre es importante profundizar en aspectos que faciliten su comprensión e interpretación.*

### Introducción

En la literatura, es posible encontrar estudios sobre las distintas causas de falla en máquinas eléctricas rotativas. Por ejemplo, años atrás un estudio del CIGRE (siglas de *Comité Internacional de Grandes Redes Eléctricas*) reportó que en una importante muestra de hidrogeneradores, el 22% de sus fallas se originaron por causa de la actividad de **descargas parciales** (DPs) en el devanado de estator. En ese mismo informe, se indicó que las otras dos mayores causas fueron: *i*) envejecimiento (31%), y *ii*) contaminación (25%). Sobre ésta última, será importante relacionar el fenómeno de DPs con la contaminación del devanado. En este artículo se analiza el efecto de la humedad relativa ambiental sobre las DPs, ya que la humedad es una causa común de contaminación.

### Descripción del fenómeno de DPs

Durante el proceso de fabricación de un **material aislante sólido**, es posible que queden pequeñas **cavidades con gas** aprisionadas en el interior del material, llamadas vacuolas, las cuales tienen formas y dimensiones diferentes. Así mismo, en el proceso de fabricación de las bobinas, y al montar el aislante en partes conductoras, pueden quedar cavidades entre el dieléctrico y el conductor. Como también, pueden quedar cavidades entre dos dieléctricos sólidos al momento de montarlas en el estator de la máquina. Finalmente, es común que, durante el funcionamiento normal de la máquina, se formen **vacuolas** progresivamente dentro del aislamiento, producto de las fuerzas mecánicas, el calor, y el envejecimiento.

Sea cual sea el origen de las vacuolas gaseosas (burbujas), cuando la máquina está en operación, la superposición de la vacuola junto con las distintas capas de materiales aislantes, producen una concentración de campo eléctrico en el material con menor constante dieléctrica (en este caso el gas), **aumentando la sollicitación en esta zona**. Cuando se sobrepasa cierto esfuerzo de campo eléctrico, se produce la **descarga de baja energía**, en el micro volumen de la vacuola. El mecanismo que opera es el de ionización del gas, que, aunado a un efecto de avalancha, da origen a la descarga eléctrica. Esta descarga está acompañada de la circulación de corriente, tendiente a equilibrar las cargas eléctricas, provocando efectos secundarios **altamente dañinos** para el sistema de aislación, como: calor, erosión, rayo ultravioleta, y descarga química.

La Fig. 1 presenta las posibles cavidades internas en materiales aislantes sólidos, las cuales potencialmente serán fuentes de DPs, si se alcanzan los niveles de tensión de activación.

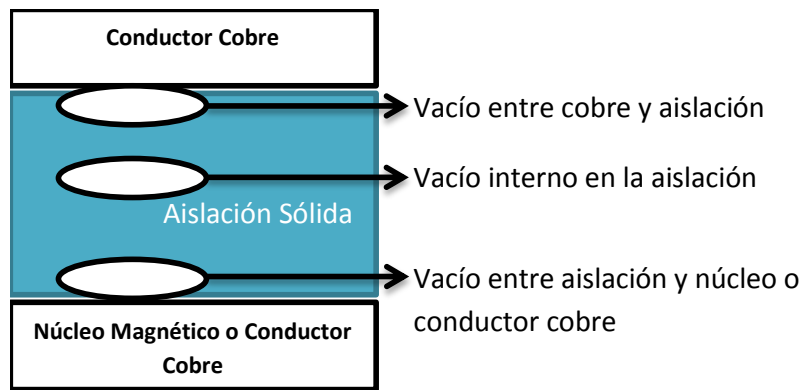


Figura 1 Cavidades internas y superficiales para formación de DP

La otra fuente potencial de DPs en máquinas eléctricas es la superficie localizada en las cabezas de bobina, las cuales pueden acumular contaminación. Estos materiales extraños pueden proveer un camino para las descargas por el aire, producto del gradiente de potencial entre el bobinado y la carcasa (tierra). La Fig. 2 presenta una representación de DPs en superficies contaminadas.

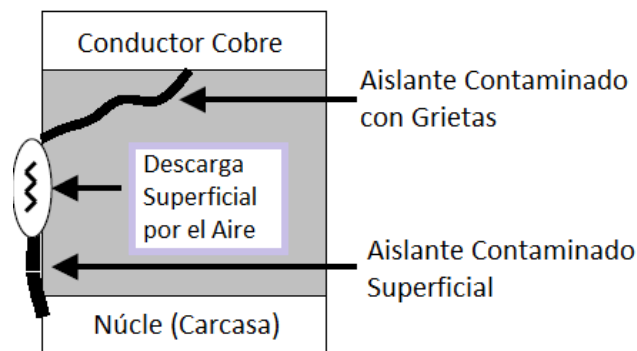


Figura 2 Descarga parcial por superficie contaminada

Los cambios en la magnitud de DPs en el tiempo pueden ayudar a identificar la fuente de la descarga, localización y su gravedad relativa. Por lo tanto, conviene conocer la influencia de distintos aspectos que afectarán la actividad de las DPs, como, por ejemplo: la altitud donde opera la máquina, el tipo de material aislante, y la **humedad relativa** durante la prueba. Sobre este último, a continuación, se analiza su efecto sobre las pruebas de DPs de tipo off-line (con la máquina apagada).

#### Efectos de la humedad relativa en las DPs

Las pruebas de Resistencia de Aislación (RA) e Índice de Polarización (IP) son dos parámetros conocidos que podrían verse afectados considerablemente por la **humedad** en el devanado. Así, los valores de RA e IP serán notablemente inferiores en máquinas con humedad. Por lo tanto, el efecto de la humedad ambiente durante las pruebas dieléctricas necesita ser considerado para el análisis de resultados. Se recomienda registrar la humedad relativa durante las pruebas. Además, se sugiere estudiar el efecto de la humedad relativa sobre las DPS, y su posible correlación, donde es de esperar que los resultados dependerán del tipo de material aislante con el que se fabricó el devanado.

Según lo que reporta la literatura, el comportamiento de las DPs, en relación con la humedad relativa, dependerá del material aislante. La evidencia experimental indica que en devanados antiguos de asfalto-mica (altamente higroscópicos), el **aumento** de humedad **incrementa** las DPs; mientras que, en devanados modernos de tipo epóxicos (menos higroscópicos), la actividad de DPs **disminuye**. Lo anterior tiene que ver con la naturaleza de las DPs, la cual es diferente en cada caso. Para comprobar parte de lo explicado anteriormente, se analiza a continuación un caso de estudio, aplicado a devanados de tipo epoxi-mica.

#### Caso de estudio

La prueba off-line de DPs es una técnica ampliamente utilizada en el monitoreo de condición de máquinas. Su objetivo es conocer la condición de la máquina, aplicada en el momento que se fabrica (o repara), como prueba de salida; o bien, cuando se encuentra en operación, se usa para conocer la condición de la máquina. Los resultados de la medición de DPs se comparan con valores considerados normales, según normativas y recomendaciones de fabricantes. Adicionalmente, se sugiere estudiar la evolución del parámetro medido en función del tiempo y establecer su tendencia, que indica la existencia de una falla, su gravedad y el tiempo posible de problemas mayores. Para el análisis de tendencias, se sugiere tomar la medida en **condiciones similares** a lo largo del tiempo; o bien **registrar** otras variables

para el ajuste de los resultados. Por ejemplo, una de las variables externas que puede afectar la prueba de DPs es la humedad relativa, como se explicó anteriormente.

Para tratar este tema, se desarrolló una comprobación experimental. Se utilizó una bobina de prueba colocada dentro de un contenedor, junto a un vaporizador, con el objetivo de modificar la humedad relativa interna durante la prueba de DPs. La Fig. 3 presenta el montaje. Para efectos prácticos de una empresa que ofrece los servicios de monitoreo de DPs, la ejecución de esta experiencia es de suma importancia para ser tomada en cuenta durante los servicios de mantenimiento predictivo que se ofrecen.



Figura 3 Montaje experimental para comprobar relación de las DPs con la humedad relativa

En la Fig. 4 se muestran los resultados de dos pruebas, bajo distintas condiciones de humedad relativa HR, en este caso: 34% y 80%. La forma de presentar la información se conoce como "Diagrama HNQ", con la cantidad de pulsos promedio que se genera en un intervalo de tiempo, agrupados según su nivel de carga formada, cuantificada en pico Culombios ( $pC=10^{-12}$  Culombios).

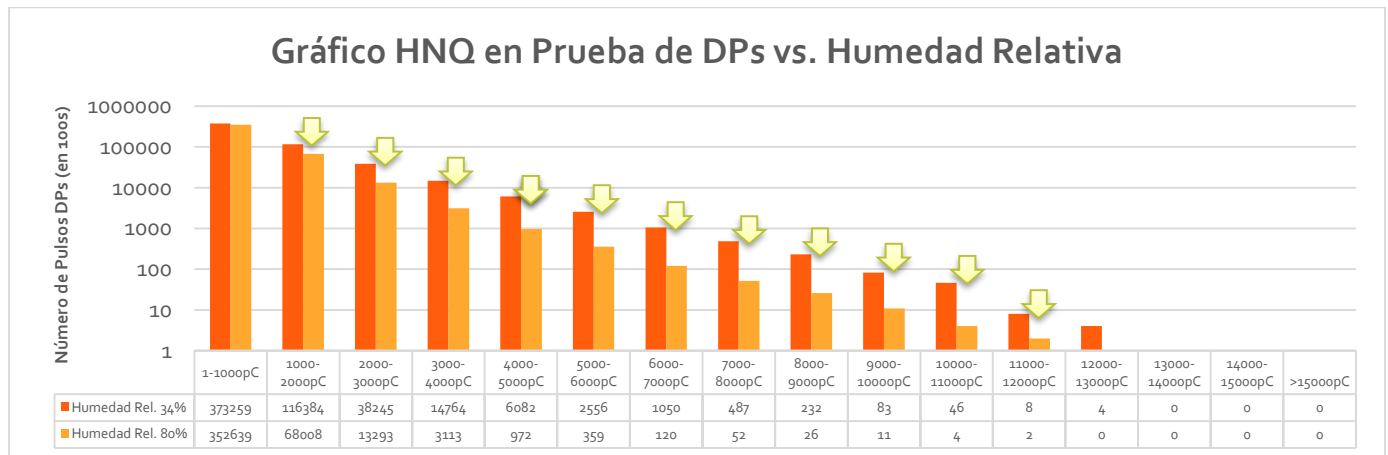


Figura 2 Comparación de DPs en distintas condiciones de humedad relativa HR (Azul: con HR 34%-Naranja: con HR 80%)

El diagrama HNQ de la Fig. 4, que cuantifica la cantidad de pulsos de DPs durante todo el tiempo que dura la prueba (para este caso fue de 100 segundos), demuestra una **disminución de la actividad de DPs** con el aumento de la humedad relativa. Esto confirma lo reportado en la literatura técnica especializada, y será considerada para futuras pruebas.

Conclusión

El uso de técnicas de mantenimiento predictivo requiere de conocer los efectos de aspectos externos que inciden sobre la prueba utilizada. La idea es ayudar en la interpretación de los datos, y lograr así un mejor análisis de la condición de la máquina. En este caso se demostró el efecto que tiene la humedad relativa ambiente sobre la prueba de medición de descargas parciales de tipo Off-Line en devanados de máquinas eléctricas rotativas.