



VIII CONGRESO INTERNACIONAL
TRABAJOS CON TENSIÓN y SEGURIDAD EN TRANSMISIÓN Y
DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA (VIII CITES)



8 al 11 de Mayo de 2018 Paraná, Entre Ríos, República Argentina

**DIAGNÓSTICO DEL ESTADO DE AISLACIÓN DE GENERADORES
HIDROELÉCTRICOS BASADO EN EL ENSAYO CORONA TEST**

Empresa u Organismo	LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO EN ENERGÍA ELÉCTRICA –LIDEE. UNIVERSIDAD NACIONAL DE MISIONES
País:	Argentina
Autores:	OLIVEIRA, MARIO (Doctor en Ingeniería Eléctrica) AGUILAR, RICARDO (Ingeniero Electromecánico) ANGIOLINI, GUILLERMO (Ingeniero Electricista) PERRONE, OSCAR (Ingeniero Mecánico-Electricista) MAZZOLETTI, ARMANDO (Doctor en Ingeniería Eléctrica)
Cargo:	Docente-Investigador

DATOS DE LA EMPRESA

Dirección:	Juan Manuel de Rosas 325
Teléfono:	03755-422169/170 (Interno: 129)
E-mail:	oliveira@fio.unam.edu.ar

1- Introducción

Los sistemas eléctricos de potencia poseen una estructura funcional donde los generadores cumplen una función esencial. Por ello, anticipar la aparición de una falla e implementar una acción preventiva puede prolongar su tiempo de vida útil. Para lograrlo es de suma importancia el monitoreo operacional. No obstante, predecir con exactitud los diversos modos de falla que podrían presentarse posee un alto grado de incertidumbre por la complejidad de los mismos, es decir, las acciones que generan las fallas son impredecibles.

Con el progreso de las técnicas de medición, los instrumentos modulares se hicieron comercialmente disponibles para adaptarse a las demandas de las mediciones on-line (con máquina en operación normal) de Descargas Parciales (DP). Para centrales de generación eléctrica y específicamente para los elementos principales como el generador, el conocimiento del estado de conservación o deterioro se ha obtenido tradicionalmente durante las evaluaciones periódicas en los paros programados de mantenimiento (Inducor Ingeniería S. A., 2018).

La tendencia mundial hacia el mantenimiento predictivo ha incrementado la posibilidad de obtener mejores diagnósticos del estado de los equipos, aplicando diversas técnicas de monitoreo en línea, principalmente de descargas parciales. Con estas técnicas, es posible identificar el estado dieléctrico de las máquinas y observar su comportamiento bajo los esfuerzos reales de operación (Campuzano, 2016; Carmona & Ochoa 2008; Marketz, 2009).

La detección de fallas por ultrasonido es una técnica de mantenimiento predictivo que aprovecha las propiedades de las ondas sonoras de alta frecuencia que se producen en los equipos cuando está sucediendo algo anormal. Si se emplea en la inspección de instalaciones eléctricas, las descargas y el efecto corona producen ondas ultrasónicas que pueden descubrirse a través de este análisis (Olarte et al. 2011).

Es posible estimar la probabilidad de falla de un generador tomando como base el histórico de los resultados de ensayos dieléctricos y magnéticos on-line y off-line, los registros de vibraciones, los registros de temperaturas de funcionamiento e inspecciones visuales, los cuales permiten llegar a un diagnóstico integral del estado de un hidrogenerador basado en los síntomas de falla.

El ensayo Corona Test se realiza con el bobinado estatórico energizado a tensión nominal de un hidrogenerador en el cual se monitorearon aquellas barras expuestas a tensiones superiores a un valor determinado. Previa inspección con pértiga de ultrasonido, es práctica común realizar ensayos dieléctricos off-line para identificación de la presencia de descargas parciales y su clasificación según el tipo que se presenten. En el caso de existir descargas parciales del tipo corona, el siguiente paso es la inspección ultrasónica a fin de identificar el origen de las descargas, evaluar la causa raíz y proponer la corrección. Este método de medición requiere ubicar al sensor del instrumento lo más próximo posible de las bobinas energizadas evitando el contacto directo con las mismas.

En este sentido, este trabajo presenta una técnica para identificar la presencia de Descargas Parciales (DP), particularmente las descargas por efecto corona, en el Bobinado Estatórico de hidrogeneradores mediante el método de ultrasonido.

2- Descargas Parciales

Una DP se define como una descarga eléctrica que afecta cierta zona del aislante entre los conductores, o entre conductores y la carcasa, sin alcanzar a la totalidad del sistema de aislamiento. En una DP se produce una ionización gaseosa transitoria cuando la tensión supera un valor crítico, produciéndose así un daño limitado. Se ha determinado que este fenómeno puede presentarse en máquinas eléctricas con una tensión de operación a partir de los 3,3 kV (Nuñez M. et al., 2018).

El fenómeno de DP debe ser comprendido como un síntoma de los mecanismos de deterioro que operan en un generador eléctrico, por lo tanto, la información que entregan las pruebas es de mucho valor para los responsables de su correcta operación.

La tendencia mundial hacia el mantenimiento predictivo ha incrementado la posibilidad de tener mejores diagnósticos aplicando pruebas on-line, principalmente de DP. Con esta técnica es posible establecer el estado dieléctrico del generador, y observar su comportamiento bajo los esfuerzos reales de operación (Stone and Warren, 2006).

Otros autores definen una DP como una descarga de baja energía, localizada dentro de un micro volumen de aire, el cual se ubica en el estator, y afecta parcialmente el aislamiento (Deshpande et al., 2013). Su origen tiene relación con el proceso de fabricación del sistema de aislamiento y de los devanados, donde pueden quedar pequeñas cantidades de gas aprisionado, formando cavidades conocidas como "burbujas de aire". Distintas acciones pueden seguirse para disminuir la actividad de las DP, sin embargo, no es posible anularlas completamente, por lo que se recomienda medirlas periódicamente para anticipar un aumento a niveles de riesgo.

2.1 Monitoreos On-Line de Descargas Parciales:

Cuando se realiza el monitoreo de DP en-línea se busca responder a los siguientes interrogantes básicos: i) ¿Cuál ha sido la frecuencia de repetición de las DP?; ii) ¿qué patrones de DP se presentó y a qué tensiones de prueba?; iii) ¿qué mecanismos de degradación están afectando al aislamiento en forma conjunta, y en qué etapa de avance se encuentran cada uno de ellos?; y, iv) ¿cuál es la ubicación de la(s) fuente(s) de DP dentro del generador?.

Para esto se utiliza un equipo de medición on-line que se conecta al generador por medio de capacitores, los cuales bloquean la tensión de frecuencia industrial (50 o 60

Hz), mientras permite que las señales de los pulsos de alta frecuencia lleguen al detector de DP.

Dentro de las consideraciones de la medición on-line están las siguientes: i) la reducción del ruido, lo cual se hace utilizando algoritmos mejorados para separación del ruido; y, ii) el ancho de banda del equipo, el cual se relaciona con la frecuencia de la DP, para que ésta no sea atenuada, y al final no se detecte.

2.2 Normativa

La norma Internacional "IEC 60270: Técnicas de prueba de alto voltaje – Mediciones de Descarga Parcial" es aplicable a la medición de Descargas Parciales que ocurren en equipos eléctricos, componentes o sistemas cuando se prueban con tensiones alternas a 400 Hz o con voltaje directo.

Esta Norma en su desarrollo posee lo siguiente:

- Define los términos usados
- Define las cantidades a medir
- Describe la prueba y circuitos de medición que pueden ser utilizados
- Define los métodos de medición analógicos y digitales requeridos para aplicaciones comunes
- Especifica los métodos para la calibración y los requisitos de los instrumentos utilizados para la calibración
- Proporciona orientación sobre los procedimientos de prueba
- Proporciona ayuda con respecto a la discriminación de descargas parciales de interferencia externa.

La norma "IEEE Std. 43-2000: Recomendaciones prácticas para pruebas de resistencia de aislamiento en maquinas rotativa", hace énfasis en la necesidad de mejorar las prácticas actuales para adecuarse a cambios y mejoras en materiales de aislamiento y en la ventaja de realización de pruebas a voltajes más altos, que revelan fallas que de otra manera no serían advertidas.

A continuación, un breve resumen de los puntos destacados de la norma:

- Se recomiendan voltajes de prueba de hasta 10 kV para devanados especificados para más de 12 kV
- Se recomiendan tanto la prueba de resistencia de aislamiento como la del índice de polarización
- Los resultados de la prueba se deben comparar con valores históricos para identificar los cambios
- En lugar de los registros históricos, para ambas pruebas se indican valores mínimos aceptables (basados en el tipo de equipo)
- Dependiendo de la especificación de la máquina, las lecturas para una de las pruebas o ambas deberían superar los valores mínimos aceptables
- Si las lecturas están por debajo de los valores mínimos aceptables, no se recomiendan las pruebas de sobrevoltaje ni la operación con el devanado.

3- Corona Test:

3.1 Detección acústica:

Con el bobinado energizado, se pueden realizar observaciones auditivas en recintos con bajo nivel de ruido, con ayuda de micrófonos direccionales de alta sensibilidad sobre el rango de frecuencias audibles, o de cualquier otro dispositivo o transductor que

amplifique la señal sonora de las descargas. Este método permite localizar principalmente descargas al aire por efecto corona y descargas a la ranura.

Esta metodología fue utilizada en este trabajo para detección de DP en cabezas de bobina de un hidrogenerador.

3.2 Medición de la Energía Integrada de las Descargas

La AEI engineering desarrolló un equipo para medir la carga total transferida al aislamiento en cada ciclo, durante la actividad de las descargas parciales, basado en el incremento de la capacitancia del aislamiento en función del voltaje. Este equipo se lo conoce como "Dielectric Loss Analyser" (DLA). Básicamente, es un puente de capacitancias, combinado con un C.R.O. (Osciloscopio de Rayos Catódicos) para el despliegue de la curva resultante.

El puente de capacitancias se equilibra hasta obtener una señal horizontal en el osciloscopio, de longitud proporcional al voltaje aplicado, siendo este de un valor inferior al voltaje de inicio de las descargas. Con el incremento del voltaje se presentan las descargas en el aislamiento, abriéndose la señal horizontal del osciloscopio en un paralelogramo, de base igual al voltaje aplicado (V) y de altura proporcional a la carga total transferida (AQ) por cada ciclo.

El área circunscrita por el paralelogramo representa la cantidad de energía total consumida debido a la actividad de las descargas parciales, energía que se mide en microjoules/ picofaradio/ciclo. Una mejor condición del aislamiento tendrá, por lo tanto, un paralelogramo de menor área.

La no linealidad con respecto al voltaje de la pintura graduadora influye sobre este método de medición, al igual que en la prueba del factor de potencia y tip-up, por lo que su uso se ha restringido únicamente a pruebas de laboratorio.

4- Estudio de Caso

El ensayo Corona Test fue aplicado en un hidrogenerador de 170 MVA, 13,2kV de tensión nominal con 160.500 horas de funcionamiento. Los instrumentos utilizados fueron: sensor de ultrasonido, medidor de temperatura y humedad, equipo de alta tensión para aplicar tensión nominal en la bobina a ensayar, megohmetro digital y equipos de seguridad personal. La Figura N°1 muestra etapas de las mediciones realizadas sobre las cabezas de bobina. En esta imagen se puede observar el instrumento de ultrasonido siendo introducido en las ranuras inferiores del bobinado estático.



Figura N°1: Medición de DP en cabezas de bobina.

La Tabla siguiente presenta solamente los resultados obtenidos con las mediciones realizadas para la fase R. La tensión aplicada en los bobinados fue de 7,62kV (tensión de fase) y las mediciones de DP se realizaron en la cabeza de bobina superior y inferior. La zona monitoreada con el instrumento fue: salida de barras colector, barra colector y cabeza de bobina.

Tabla N°1. Valores registrados con la técnica de ultrasonido.

FASE	U [kV]	T° Amb [°C]	H Amb [%]	Bob Sup	Bob Inf	Ranura N°	ZONA MONITOREADA				CORRECCIONES	Foto N°	OBSERVACIONES
							Salida Barra	Parte Curva	Cabeza Bobina	Barra Colectora	Lijado-Pintura Semicond, Gradiente, etc		
R	7.62	25.3	75	x		18	3 1/4	3 1/4	3 1/4	3 2/4	-----	--	
R	7.62	25.3	75	x		19	3 1/4	3 1/4	3 1/4	3 2/4	-----	--	
R	7.62	25.3	75	x		33	3 3/4	3 3/4	3 4/4	3 2/4	-----	--	
R	7.62	25.3	75	x		34	3 3/4	3 3/4	3 1/4	3 2/4	-----	--	
R	7.62	25.3	75		x	25	3 3/4	3 3/4	3 3/4	3 2/4	-----	--	
R	7.62	25.3	75		x	26	3 1/4	3 3/4	3 3/4	3 2/4	-----	--	
R	7.62	26.7	74.7		x	595	3 1/4	-	3	3	-----	--	
R	7.62	26.7	74.7		x	596	3 1/4	-	3	3	-----	--	
R	7.62	26.7	74.7		x	610	3 3/4	-	3	3	-----	--	
R	7.62	26.7	74.7		x	611	3 3/4	-	3	3	-----	--	
R	7.62	26.7	74.7	x		588	3 1/4	3 1/4	3	3	-----	--	

El selector de sensibilidad de Nivel Sonoro del equipo fue ajustado en el valor 3 (mayor sensibilidad). La localización de DP fue monitoreada sobre aquellas barras expuestas a tensiones superiores a 4 KV entre las ranuras 12 a 36 correspondientes a la salida de los terminales de fases y entre las ranuras 588 a 616 correspondientes a los terminales de neutro.

De las mediciones efectuadas se detectó solamente incipientes descargas en las zonas mencionadas.

Se realizó una Inspección Visual general del bobinado y núcleo estático desde las ranuras N°580 a 45, encontrándose en buen estado, las superficies aislantes están limpias, sin decoloración e indicios de corona.

5- Conclusiones

La detección de DP a través de la técnica Corona Test se mostro interesante dado que permite identificar la presencia de descargas en zonas específicas del bobinado estático de la máquina. En el caso estudiado no se registraron presencias de DP aún utilizando la mayor sensibilidad del instrumento. Es importante destacar que el ensayo se realiza con tensión nominal de la máquina lo cual demanda asegurar los requisitos de seguridad y utilizar técnicas de trabajos con tensión.

6- Bibliografía

Inducor Ingeniería S. A. (Año) Diagnóstico y Monitoreo de Descargas Parciales en Generadores y Motores. Buenos Aires Argentina. Electrical Testing Group H. V. Partial Discharge.

http://www.inducor.com.ar/articulos tecnicos/diagnostico_y_monitoreo_de_descargas_parciales_en_generadores_y_motores.pdf

Campuzano Martínez R. Ignacio, 2016, Diagnóstico de Generadores Eléctricos de Potencia con Técnicas de Monitoreo en Línea y Fuera de Línea. Instituto de

Investigaciones Eléctricas, Reforma 113 Col Palmira, Cuernavaca, Morelos, México. Información Tecnológica – Vol. 27 N° 2 2016.

<https://scielo.conicyt.cl/pdf/infotec/v27n2/art03.pdf>

Carmona J. Francisco, Ochoa A., José, 2008, Procedimiento para el Mantenimiento Predictivo en Subestaciones de 115 / 34,5 / 13,8 kv, utilizando Técnicas de Termografía y Ultrasonido. Caso de Estudio. Empresa Electricidad de Valencia. Universidad de Carabobo, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Eléctrica, Departamento de Potencia. Valencia, España.

<http://mriuc.bc.uc.edu.ve/bitstream/handle/123456789/53/ochcar.pdf?sequence=4>

Marketz, Michael, Christian Rupp, and Michael Krüger. (2009). “Unconventional Diagnostic Methods for Testing Generator Stator Windings.” IEEE Electrical Insulation Magazine 25(5):18–24.

Olarte C., William, Botero A., Marcela, 2011, La Detección de Ultrasonido: Una Técnica Empleada en el Mantenimiento Predictivo. Scientia Et Technica [en línea] XVII (abril-Sin mes) ISSN 0122-1701.

<http://ucsj.redalyc.org/articulo.oa?id=84921327035>

Oscar Núñez-Mata, Gerard Rodríguez-Vargas, and Rolando Rodríguez-Oviedo, “Monitoreo de Descargas Parciales En-línea en Generadores Eléctricos de Alta Tensión” in 6th Engineering, Science and Technology Conference, KnE Engineering, pages 645–656. DOI 10.18502/keg.v3i1.1468, 2018.

IEC 60270-2000: “High-voltage test techniques – Partial discharge measurements”

IEEE Std. 43-2000: “IEEE Recommended Practice for Testing Insulation Resistance of Rotating Machinery”