Diagnóstico de Generadores Eléctricos de Potencia con Técnicas de Monitoreo en Línea y Fuera de Línea

Ignacio R. Campuzano-Martínez

Instituto de Investigaciones Eléctricas, Reforma 113 Col Palmira, Cuernavaca, Morelos, 62490, México
(e-mail: rcm@iie.org.mx)

Recibido Jul. 28, 2015; Aceptado Sep. 8, 2015; Versión final Sep. 29, 2015, Publicado Abr. 2016

Resumen

Se presenta el análisis dieléctrico del sistema aislante del estator de cuatro generadores de 25 MW de una Central Geotérmica en México. Desde los primeros mantenimientos se identificó polvo blanco en los devanados del estator, evidencia de alta actividad de descargas parciales. Las descargas parciales erosionan el aislamiento y lo conducen a la falla. Se decidió determinar tanto el origen como el nivel de afectación del sistema aislante para tomar acciones de mantenimiento. La evaluación de los generadores se llevó a cabo en dos etapas; la primera consistió en el monitoreo en línea de las descargas y una segunda etapa de aplicación de pruebas fuera de servicio. La primera etapa permitió establecer una clasificación inicial de la máquina con las condiciones dieléctricas menos favorables. En la segunda etapa se identificaron los mecanismos de deterioro de los devanados y se aplicaron acciones correctivas de mantenimiento. Estas acciones proporcionaron confiabilidad y disponibilidad a los cuatro generadores.

Palabras clave: sistema aislante; descargas parciales; confiabilidad; monitoreo en línea

Diagnostic of Electric Power Generators with On-Line and Off-Line Monitoring Techniques

Abstract

This paper presents the dielectric analysis of the stator insulation system of four 25 MW generators in a Geothermal Plant in Mexico. Since the first maintenance procedures white powder was detected on the stator windings, indicating that there were high partial discharges. Partial discharges erode the insulation system and eventually lead to failure. It was decided to investigate both the origins and the level of involvement of the insulation system to make maintenance actions. The evaluation was conducted in two stages. The first step consisted of on-line monitoring of partial discharges and the second step involved off-line tests. The first step allowed establishing an initial classification of the machine with the least favorable dielectric conditions. In the second step, the mechanisms of deterioration of the windings were identified and corrective maintenance actions were applied. These actions provided reliability and availability of the four generators.

Keywords: insulation system; partial discharges; reliability; on line monitoring

INTRODUCCIÓN

La identificación del estado de los equipos permite la planeación y la programación de acciones correctivas. 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.

La evaluación normalizada fuera de línea del sistema aislante de los componentes principales del generador; rotor, estator y núcleo magnético, identifica los niveles y tendencias de deterioro o envejecimiento a través de diferentes parámetros dieléctricos, tales como la $\tan \delta$ (IEEE 286, 2000), capacitancia, resistencia de aislamiento (IEEE 43, 2013), resistencia óhmica y descargas parciales (IEEE 1434, 2014) entre otras. Recientemente Sumereder propone técnicas no convencionales como la espectrometría en el dominio de la frecuencia y la corriente de polarización-despolarización (Sumereder, et al. 2009). Las pruebas realizadas de manera rutinaria brindan información respecto al envejecimiento natural e identifica la aparición de mecanismos de deterioro derivado de los esfuerzos térmicos, mecánicos, eléctricos y ambientales a los que está sometida la máquina.

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 como lo reporta Carvajal en su método no normalizado y no invasivo para el diagnóstico de motores de gran capacidad (Carvajal, et al., 2008). Con éstas técnicas, es posible identificar el estado dieléctrico de los equipos y observar su comportamiento bajo los esfuerzos reales de operación.

En este artículo se presenta el diagnóstico del aislamiento de cuatro generadores de una Central Geotérmica en México, mediante la ejecución de técnicas de evaluación en línea y fuera de línea. La evaluación, diagnóstico y clasificación de los generadores se fundamentó en el parámetro de descargas parciales (DP). Desde el punto de vista de estimación del estado de los equipos de alta tensión, el registro de las descargas parciales es la herramienta de diagnóstico más reconocida en la literatura especializada (Medrano, 2013; Tavner, et al., 2008; Stone, 2005) y es la variable que representa más de dos terceras partes del índice de daño cualitativo ligado a defectos individuales en el devanado del estator (Kartalovic, et al. 2014). Dorrbercker, Darwanto y Torres documentan sus experiencias con el diagnóstico del aislamiento de generadores de potencia mediante esta variable (Dorrbercker, et al., 2012; Darwanto, et al., 2012; Torres, et al., 2010).

Las unidades 13 a 16 de la Central Geotérmica tienen una capacidad de 25 MW cada una y operan con un voltaje nominal de 13.8 kV. Durante los primeros mantenimientos de estas unidades, personal de la central encontró polvo blanco en los devanados del estator. Estimaron que el polvo era evidencia del deterioro del aislamiento de los bastones, producto de alta actividad de descargas parciales externas. Debido a que los generadores contaban con sólo 7 años en servicio, se decidió realizar un análisis de las condiciones dieléctricas de las bobinas, para aplicar las correcciones necesarias y evitar la falla prematura de los devanados.

Se planteó un proyecto en dos etapas: la primera consistió en realizar la evaluación temporal en línea de los cuatro generadores para determinar la máquina con las características dieléctricas menos favorables. El estado dieléctrico de los devanados se determinó con la medición de descargas parciales mediante la instalación del Sistema de Monitoreo en Línea de Generadores denominado "AnGeL" desarrollado en el Instituto de Investigaciones Eléctricas (De la Torre et al., 2005; Carrillo, 2009). En esta etapa y adicional a la evaluación dieléctrica del aislamiento, también se revisó el comportamiento electromagnético de los generadores a través del análisis en frecuencia del voltaje del neutro (Ramírez et al., 2009). Las variables se registraron a la potencia nominal de los generadores. La segunda etapa consistió en llevar a cabo la evaluación fuera de línea del generador seleccionado en la primera etapa, para identificar los mecanismos de deterioro de las bobinas del estator y determinar las acciones de mantenimiento para su rehabilitación.

Con los resultados obtenidos de las evaluaciones en línea y fuera de línea, se logró identificar los mecanismos de deterioro de los devanados y posteriormente la ejecución de acciones de mantenimiento. Estas acciones preventivas proporcionaron confiabilidad y disponibilidad a cuatro generadores de la central geotérmica.

INSTRUMENTACIÓN PARA EL MONITOREO EN LÍNEA.

Instalación de sensores y metodología.

La instalación de los sensores; capacitores de acoplamiento de 1 nF para descargas parciales y transformador de corriente (TC) para el registro de la corriente de neutro, y posterior cálculo del voltaje del neutro, tomó un periodo de tres horas para cada generador. El periodo de monitoreo en línea para los cuatro generadores fue

de 7 días en promedio. El circuito de prueba para cada generador, se calibró con un pulso de 10 nC. El medidor de descargas parciales tiene un ancho de banda de 800 kHz a 1.2 MHz. El módulo de adquisición de datos se programó para que cada hora el sistema de monitoreo AnGeL registrara un evento. En la Fig. 1 se ilustra la instalación de los sensores para el monitoreo en línea.

Fig. 1: Instalación del AnGeL para monitoreo temporal en línea de los generadores de una Central Geotérmica en México.

Características de los generadores evaluados

Los generadores evaluados tienen una capacidad de 25 MW, con un voltaje nominal de 13.8 kV, 3600 rpm, con enfriamiento indirecto por aire en ciclo cerrado, clase térmica de aislamiento "F", con dos circuitos en paralelo por fase y con bobinas tipo diamante con tres vueltas por bobina". Los generadores fueron fabricados en el 2001 e iniciaron su operación comercial en el 2003.

RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN EN LÍNEA.

Descargas parciales. El periodo de ejecución de la evaluación en línea se llevó a cabo entre julio y octubre del 2010. En la Fig. 2 se muestra el nivel de descargas parciales ($Q_{\text{máx}}$) que se registró en los generadores de las unidades 13, 14, 15 y 16 de la Central Geotérmica. La gráfica indica el nivel máximo por fase.

Fig. 2: Descargas parciales en los generadores 13, 14, 15 y 16 de la Central Geotérmica.

El monitoreo en línea cumplió dos objetivos fundamentales; la primera identificar el generador con la mayor magnitud de actividad de descargas parciales y la segunda identificar, mediante los patrones registrados, los mecanismos de deterioro de los devanados. El primer objetivo se cumplió al comparar la magnitud medida en los cuatro generadores. Como se muestra en la Fig. 2, fue en la Fase A del generador de la unidad 16 donde se registró el mayor nivel de descargas parciales, por lo cual se propuso para ser evaluado fuera de línea. Respecto al segundo objetivo, y de acuerdo con los patrones de descargas parciales registrados, se identificaron descargas parciales internas y externas en los cuatro generadores. Las descargas parciales

internas son típicas en este tipo de aislamiento y las descargas parciales externas representan condiciones anormales ya sea por deficiente diseño dieléctrico, envejecimiento o contaminación del sistema aislante.

La interpretación de los mapas de descargas parciales en estos generadores se facilitó por dos razones; la primera porque su excitación es del tipo rotatoria, por lo que no hay ruidos asociados a la conmutación de tiristores, y la segunda porque las unidades están separadas cuando menos 1,500 metros una de otra, por lo que el ruido ambiental es reducido comparado con el ambiente de ruido que existe normalmente en la sala de máquinas de centrales convencionales (Dorrbercke, 2014).

En la Fig. 3 (a) se muestra un mapa, obtenido en la fase C del generador de la Unidad 14, en el que se observan dos patrones de descargas parciales; actividad de descargas parciales internas y externas. La actividad de descargas parciales externas se encuentra desplazada eléctricamente del orden de 45° respecto a las internas, por lo que se estimó que eran descargas parciales externas entre fases.

Fig. 3: Mapas de descargas parciales registradas en la fase C del generador 14 y fase B del generador 16.

En la Fig. 3 (b) se muestra otro mapa, obtenido en la fase B del generador de la unidad 16, donde también se identifica actividad de descargas parciales internas y externas. Sin embargo, en este mapa se aprecia, que las descargas parciales externas tienen la misma fase que las descargas parciales internas por lo que se concluyó que las descargas parciales externas eran de fase a tierra. El orden de magnitud de las descargas parciales externas de la figura 3 fue de 4 nC, lo que indicaba que había mecanismos diferentes de deterioro adicionales al que se registraba en el generador de la unidad 16.

Voltaje del neutro. En la Fig. 4 se presenta el voltaje del neutro en los cuatro generadores, en (a) se grafica la magnitud del tercer armónico (180 Hz) y en (b) la magnitud de la frecuencia fundamental (60 Hz) y armónicos noveno (540 Hz) y quinceavo (900 Hz).

Fig. 4: Voltaje del neutro de los generadores 13, 14, 15 y 16 de la Central Geotérmica, a) tercer armónico, b) fundamental y armónicos noveno y quinceavo.

En el neutro del generador la forma de onda predominante del voltaje es de tercera armónica con cierto nivel de la onda fundamental y en menor proporción frecuencias impares. La ocurrencia de cambios, ya sean mecánicos o eléctricos, trae como consecuencia un desbalance electromagnético, que se ve reflejado en el contenido armónico del voltaje en el neutro. Los cambios mecánicos los que se hace referencia pueden ser vibraciones, excentricidad, cabeceo, desplazamiento, etc. Los cambios de índole eléctrica pueden ser corto circuitos entre espiras del estator, rotor, daño o saturación del núcleo y cualquier cambio de impedancia en los devanados por cualquier circunstancia. De esta forma, puede clasificarse el balance electromagnético y mecánico de los generadores con la siguiente premisa: entre mayor contenido armónico en la señal del voltaje

del neutro, mayor el desbalance electromagnético del generador. Con este concepto se observa en la figura 4 que el generador de la unidad 16 fue el que se encontró con la mayor magnitud tanto de frecuencia fundamental como de componentes armónicos, es decir, con el mayor desbalance electromagnético. Este dato corroboró la decisión de evaluar fuera de línea el generador de la unidad 16.

RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN FUERA DE LÍNEA

Con base en los resultados obtenidos de la evaluación temporal en línea, el generador de la unidad 16 fue retirado de servicio para su evaluación fuera de línea en noviembre del 2010. La magnitud de las descargas parciales que se registró en el devanado del generador se presenta en la Tabla 1. Se decidió aplicar una tensión de prueba de hasta 10 kV (1.2 veces el voltaje nominal de fase a tierra del devanado) para comparar el nivel medido con los criterios de evaluación reportados por el Central Research Institute of Electric Power Industry (CRIEPI, 1991), que se muestran en la Tabla 2.

La magnitud máxima que se registró en el devanado fue de 30 nC. Este es el valor límite que el CRIEPI considera como aceptable para que el devanado continúe su operación. Sin embargo, recomienda que se inspeccione el devanado para identificar el origen de la actividad. A continuación se describen las causas que dieron origen a la actividad de descargas parciales y las magnitudes asociadas registradas durante su evaluación fuera de servicio.

Tabla 1. Descargas parciales en el devanado del generador de la unidad 16. Sensibilidad: 1.2 nC.

Voltaje de prueba (kV)	Q _{máx} (nC)		
	Fase A	Fase B	Fase C
2.0	3.0	4.0	
3.0	4.5	5.5	4.8
4.0	5.5	6.8	5.5
5.0	6.8	13.0	7.0
6.0	8.0	14.0	9.0
7.0	9.5	15.0	13.0
8.0	13.0	17.0	16.0
9.0	18.0	27.0	24.0
10.0	25 a 30	28	28 a 30

Tabla 2. Criterios de evaluación del CRIEPI respecto al nivel de descargas parciales que se registran en pruebas fuera de línea.

Q máx (nC) a 1.2 V _n	Estado del sistema aislante
≤ 10	Devanado en buenas condiciones
De 10 a 30	Devanado en condiciones de continuar su servicio con recomendación de inspección
> 30	Estado crítico del devanado

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Descargas parciales internas: Se registró un nivel de descargas internas de 8 nC en la fase A, 14 nC en la fase B y 9 nC en la fase C. Estos niveles son elevados para este tipo de aislamiento, sin embargo, se estimó que las descargas parciales ocurren principalmente en los intersticios entre los tres paquetes de sub-conductores que forman la bobina. En la Fig. 5 se presenta una fotografía tomada de las bobinas de repuesto con las que cuenta la Central, en la cual se muestran los paquetes que forman las tres vueltas en cada bobina.

Descargas parciales externas: Se identificaron tres tipos de descargas parciales externas en el devanado: a) entre bobinas de diferente fase, b) en la zona de graduación de algunos bastones y c) entre un RTD y la superficie de una bobina.

Fig. 5: Sección donde se aprecian las tres vueltas por bobina.

Descargas parciales entre bobinas. Se localizaron cinco sitios de actividad de descargas parciales entre bobinas adyacentes de diferente fase. En la Fig. 6 (a) se muestran una de las zonas con evidencia de actividad de descargas parciales entre bobinas de diferente fase; entre los bastones superiores de las ranuras 3 (Fase C) y 4 (Fase A) que operan con un voltaje de 8 y 7.5 kV respectivamente. La diferencia de potencial entre estos bastones es de 13.4 kV.

Las cinco zonas del devanado con actividad de descargas parciales entre fases corresponden a bastones que operan al voltaje nominal o muy cerca al nominal. En la Fig. 6 (b) se muestra el arreglo de cabezales de los bastones alojados en las ranuras 3 y 4. Como se observa en la figura, la distancia entre ellos a lo largo del cabezal no es equidistante. Al inicio y final del cabezal, izquierda superior y derecha inferior de la figura, los bastones se encuentran separados una distancia de 12 mm; en estas zonas no hay evidencia de actividad de descargas parciales. En la zona central donde se localiza polvo blanco como evidencia de actividad de descargas parciales, la separación entre bastones es de 5 mm.

En referencia a la Fig. 6 (b), donde la distancia entre bastones es de 5 mm, el gradiente es de 2.68 kV/mm, mientras que en las zonas más alejadas el gradiente es de 1.11 kV/mm. En condiciones normales de presión y temperatura la rigidez dieléctrica del aire es del orden de 2.0 kV/mm. Por lo tanto, donde hay una separación entre bobinas de 5 mm, el gradiente eléctrico es suficiente para el rompimiento dieléctrico del aire entre la superficie de los bastones. En condiciones de operación nominal la situación es más crítica porque a una temperatura de entre 70 y 80 °C la rigidez dieléctrica del aire disminuye. La falta de una adecuada distancia dieléctrica entre bastones de diferente fase, es la principal fuente de actividad de descargas parciales. El mayor nivel de descargas parciales que se registra en el devanado de 30 nC se atribuye a esta actividad.

(a)

(b)

Fig. 6: (a) Evidencia de descargas parciales entre bastones de las fases A y C, (b) Separación no equidistante entre bastones superiores de las ranuras 3 y 4 a lo largo del cabezal del generador 16.

Descargas parciales en la zona de graduación de campo eléctrico. En el lado cople turbina, se identificaron tres bobinas con evidencia de actividad de descargas parciales en la zona de graduación de campo eléctrico. En la Tabla 3 se muestran las ranuras donde pertenecen estas bobinas y su voltaje de operación nominal.

Tabla 3. Ubicación física de los bastones con actividad de descargas parciales en la zona de graduación de campo eléctrico.

Bobinas superiores de ranuras	Fase	Voltaje de operación (kV)
19	B	5.7
20	B	7.1
22	C	7.5

La graduación incorrecta del campo eléctrico se puede originar por dos razones: la deficiente aplicación de pintura graduadora o el deterioro de sus características resistivas por la acumulación de sustancias contaminantes en la superficie de las bobinas. En el caso del generador de la unidad 16 se estima que esta actividad es producto de una deficiente aplicación de pintura graduadora, ya que no se encontraron contaminantes en el devanado que pudieran modificar sus características resistivas. Se estima que las descargas parciales en la zona de graduación alcanzan una magnitud de entre 10 a 20 nC. En la Fig. 7 (a) se muestra la zona de actividad de descargas parciales en la bobina superior de la ranura 19, lado turbina.

Descargas parciales entre bobinas y RTD's (Resistance Temperature Detector). Se encontró evidencia de descargas parciales entre la bobina inferior de la ranura 38 y el RTD instalado en esta ranura, como se muestra en la Fig. 7 (b). El RTD estaba instalado incorrectamente sobre la zona de graduación de la bobina lo que provocaba la actividad de las descargas parciales. El RTD está a potencial de tierra, mientras que el lado de bobina inferior de la ranura 38 tiene un potencial de 7.1 kV.

Estimación del deterioro del sistema aislante de las bobinas.

De acuerdo con los resultados obtenidos y las evidencias encontradas en el devanado del estator, se apreció un ensamble deficiente tanto en la manufactura de las bobinas como en su instalación en el estator en la zona de cabezales. El elevado nivel de descargas parciales que se registra en este generador, es reflejo de estas deficiencias.

(a)

(b)

Fig. 7: Evidencia de descargas parciales en (a) en la zona de graduación de campo eléctrico y (b) entre RTD y superficie de la bobina inferior de la ranura 38.

Las descargas parciales producen óxidos nítricos y ozono. Los óxidos nítricos reaccionan con el agua, la cual aún en pequeñas proporciones está presente en el medio ambiente del generador, creando ácido nítrico. Este último es altamente corrosivo. El ozono es por sí mismo un agente oxidante poderoso y tiene un fuerte impacto perjudicial para el aislamiento (Karlsson, 2006).

El sistema aislante utilizado en este tipo de bobinas está formado por mica, fibra de vidrio y un material aglomerante normalmente resina epoxica. La mica es el material de mayor resistencia a la descomposición por los efectos fisicoquímicos que se generan durante la actividad de las descargas parciales. La fibra de vidrio y la resina son los elementos más débiles y eventualmente estos son los que se degradan con mayor rapidez con el tiempo de exposición. En la zona de cabezales se aplica adicionalmente un encintado de fibra de vidrio y un barniz aislante como protección contra el ingreso de humedad y contaminantes. El daño que se observó en las bobinas fue la erosión superficial tanto de la fibra de vidrio como del barniz de protección y un cambio de coloración del barniz producto de un incremento de temperatura que se genera durante la actividad de las descargas parciales.

Para determinar el grado de deterioro del aislamiento en las zonas en las que se localizó la actividad de descargas parciales, se llevó a cabo la limpieza utilizando tela de algodón con solvente dieléctrico. Después de la limpieza, se observó que las descargas parciales no habían afectado de manera significativa la superficie de la cinta de protección de fibra de vidrio. El RTD que se muestra en la Fig. 7 (b), fue reubicado a potencial de tierra, desplazándolo hacia la superficie lateral de la laminación del núcleo.

Hasta el 2010, año en que se llevó a cabo la evaluación que se reporta en este artículo, los generadores habían acumulado 7 años en servicio. A pesar de que los devanados estuvieron sometidos a la actividad de descargas parciales durante este tiempo, no se observó deterioro significativo de la superficie de las bobinas. Se consideró que el generador podía continuar su operación normal sin ninguna intervención inmediata adicional a la limpieza exhaustiva de las zonas de las bobinas afectadas y la aplicación de barniz para restaurar el que se había degradado por la acción de las descargas parciales.

La primera evaluación dieléctrica con pruebas fuera de línea que se realizó en los generadores fue en el 2006, detectándose un nivel máximo de 30 nC. En el 2010, se verificó que la magnitud máxima de descargas parciales no se había incrementado desde entonces. Se estimó que este nivel seguirá presentándose y que el deterioro superficial de las bobinas será el mismo que hasta ahora se ha registrado. Se recomendó que durante cada mantenimiento se programe su evaluación con énfasis en identificar el avance en el deterioro del aislamiento en las zonas en las que se detectó actividad de descargas parciales.

Se estableció como estrategia de mantenimiento preventivo la revisión detallada de las zonas afectadas, la limpieza y aplicación de barniz de protección en la sección de cabezales durante los periodos de mantenimiento mayor de los generadores.

La acción preventiva en el caso particular del generador de la unidad 16 fue equipar con un sistema de monitoreo de descargas parciales en línea permanente para su monitoreo continuo. Antes de la evaluación de los generadores, personal de la central contemplaba la adquisición de devanados nuevos para los cuatro generadores. El diagnóstico temprano permitió ahorros económicos sustanciales no solo en la compra e instalación de nuevos devanados, sino también en los costos asociados por la no generación de las unidades. La evaluación se llevó a cabo en el 2010. A la fecha los cuatro generadores continúan su operación comercial. Sin duda, el diagnóstico fortaleció de manera significativa la confiabilidad y disponibilidad de los generadores de esta central.

CONCLUSIONES

Mediante la ejecución de técnicas de evaluación en línea y fuera de línea se logró determinar el origen de la actividad de descargas parciales así como el nivel de afectación del sistema aislante de cuatro generadores de una central geotérmica. Los resultados mostraron que los generadores podían continuar su servicio. Se establecieron estrategias y acciones preventivas de mantenimiento que permitieron incrementar los índices de confiabilidad y productividad de la central generadora.

Identificar la magnitud de la actividad de las descargas parciales y los defectos del aislamiento que las origina, constituyen las bases del mantenimiento predictivo.

REFERENCIAS

Carrillo, J. Ramírez, J. *Experiencias en la instrumentación de generadores de potencia con el Sistema de Análisis de Generadores en Línea "AnGeL", para el diagnóstico del estado del aislamiento interno* en Boletín IIE abril-junio del 2009, p 68. Cuernavaca, Morelos, México, (2009)

Carvajal, A. García-Colón, V. Asiain, T. *Diagnóstico en Línea de Motores de Gran Capacidad mediante la Detección de Descargas Parciales Utilizando Técnicas de Banda Ultra Ancha*. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642008000100010> Inf. tecnol. [online]. 2008, vol.19, n.1, pp. 75-86. ISSN 0718-0764 (2008)

Central Research Institute of Electric Power Industry. *An Insulation Deterioration Diagnostic Method for Generator Windings*, Special Document for IERE members (R-99019), Japan, (1991)

Darwanto, D. Hamdani, D. Hariyanto, D.; Karyawan, H., "Partial discharge analysis for predictive maintenance of generator of geothermal power plant," doi: 10.1109/CMD.2012.6416252. International Conference on Condition Monitoring and Diagnosis (CMD), 23-27 September 2012, 740-743 (2012)

De la Torre, O. Ramírez, J. Pascacio, A. Reyes, O. Carrillo, J. Iturbe, M y Ponce de León, E. *Sistema AnGeL para el diagnóstico de generadores en operación* en Boletín IIE abril-junio del 2005, pp. 63-65. Cuernavaca, Morelos, México, (2005)

Dorrbercker, S. Benítez, Ivón. Torres, W. William, J. Urquiola, A. *Limpieza de patrones phi, q, de descargas parciales*. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=329132445005>. ISSN 1815-5901. Ingeniería Energética, Vol. XXXV, núm. 3, septiembre-diciembre, 2014, 202-212 (2014)

Dorrbercker, S. Torres, W. Molé, J. *Experiencias en el diagnóstico del aislamiento de los generadores de potencia*. http://www.scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S18159012012000100007. ISSN 1815-5901 Ingeniería Energética, Vol. XXXIII, No. 1/ enero-abril 2012, 59-67(2012)

Medrano, Z. Perez, C. De Armas Teyra, M. Amaro, C. *Un estudio sobre la localización, detección y diagnóstico de fallas en máquinas eléctricas*. ISSN: 0124-8170. Ciencia e Ingeniería Neogranadina, Vol. 23, No. 1, 37-59 (2013)

IEEE Std 43. Recommended Practice for Testing Insulation Resistance of Rotating Machinery, (2013)

IEEE Std 286. Recommended Practice for Measurement of Power Factor Tip-Up of Electric Machinery Stator Coil Insulation, (2000)

IEEE Std 1434. Trial-Use Guide to the Measurement of Partial Discharges in Rotating Machinery, (2014)

Karlsson, A. Karlsson, T. *Estimating Lifetimes for Stator Windings in Hydropower Generators*. doi: 10.1109/PMAPS.2006.3602859th International Conference on Probabilistic Methods Applied to Power Systems. KTM, Stockholm, Sweden. June 11-15, 1-8 (2006)

Kartalovic. N, Babic. B, Marinkovic. S, Teslic. D, Nikolic. A. *Monitoring and diagnostic center for generators*. 2nd International Conference on Intelligent Control, Modelling and Systems Engineering (ICMS '14), January 2014, USA At Cambridge, MA. 29 – 31 (2014)

Ramírez, J. Pascacio, A. Carrillo, J. De la Torre, O. *Monitoring network for online diagnosis of power generators*. doi:10.1016/j.measurement.2009.05.009. ELSEVIER Measurement Vol. 42. pp. 1203 – 1213. EUA, (2009)

Sumereder, C. Muhr, M. Marketz, M. Rupp, C. Krüger, M. *Unconventional Diagnostic Methods for Testing Generator Stator Windings*. doi: 10.1109/MEI.2009.5276075 IEEE Electrical Insulation Magazine, volume 25, 18-24 (2009)

Stone, G. *Partial Discharge Diagnostics and Electrical Equipment Insulation Condition Assessment*. doi: 10.1109/TDEI.2005.1522184 IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol.12, No. 5, 891-904 October (2005)

Tavner, P. Ran, L. Penman J. Sedding H. *Condition Monitoring of Rotating Electrical Machines*. Published by The Institution of Engineering and Technology, London, United Kingdom, (2008)

Torres, W. Dorbercker, S. Benitez I. *Variable para la Supervisión del Envejecimiento del aislamiento Principal de Grandes Hidrogeneradores Mediante Descargas Parciales*. ISSN 1316-4821. Universidad, Ciencia y Tecnología, Volumen 14, No. 56, pp 165-173 septiembre (2010)