



Consideraciones para un sistema de diagnóstico de aislamiento de grandes hidrogeneradores mediante DP

William J. Torres
Santiago A. Dorrbercker
Ivón O. Benítez

Recibido: Octubre del 2008
Aprobado: Diciembre del 2008

Resumen/ Abstract

El presente trabajo aborda las fallas a monitorear, la selección de las variables y parámetros de estado de diagnóstico, el método de identificación de las fallas y el flujo de la información. Los resultados mostrados demuestran que los controles mediante Descargas Parciales (DP) son los más efectivos para el diagnóstico del aislamiento; que, para el caso de los grandes hidrogeneradores de la empresa estatal Electrificación del Caroní (EDELCA), filial de CORPOELEC en Venezuela, el predominio de las DP son de tipo corona y barra-barra (en los extremos o cabezales del devanado) a la vez que, atendiendo a las características y disponibilidades de dichas instalaciones, existen posibilidades de implementar el sistema propuesto para el desarrollo de controles en tiempo real.

Palabras claves: aislamiento, descargas parciales, diagnóstico, hidrogeneradores

This paper showed the failure to monitoring, the selection of state variables and parameters of diagnostic, method of identification of failures and the flow of information. The results showed that the controls Partial Discharge (PD) are most effective for diagnostics of insulation, whereas, in the case of the large hydrogenerators of EDELCA filial of CORPOELEC in Venezuela, the predominant PD are corona and bar-bar (at the endwinding) while, depending on the features and availability of these facilities, there are opportunities to implement the system proposed for the development of real time controls.

Key Words : insulation, partial discharges, diagnostic, hydrogenerators

INTRODUCCIÓN

La importancia del diagnóstico del aislamiento radica, entre otras, en que aproximadamente el 90% de las salidas prolongadas que ocurren en las MERGP se debe a fallas en el mismo[1]. Entre los objetivos principales del diagnóstico del aislamiento se encuentra la detección de fallas incipientes para su atenuación o eliminación, con

la finalidad de evitar su fallo el cual de forma inevitable conduce a daños de consideración, al menos, en el núcleo magnético de las MERGP. En particular los resultados de un estudio publicado en 2003, sobre fallas en hidrogeneradores, brindan entre otras informaciones lo reflejado en la tabla 1.

Tabla 1				
Distribución de fallas en Hidrogeneradores según[2]				
Causas Raíces				
Fallas en Cojinetes	Fallas Mec.	Fallas Térmicas	Fallas en el Aislam.	Totales
2	25	8	35	70
3%	36%	11%	50%	
Daños Causados				
Fallas en Cojinetes	Fallas Mec.	Fallas Térmicas	Fallas en el Aislam.	Totales
2	18	13	43	76
3%	24%	17%	57%	

El papel de las DP como un elemento fundamental en el envejecimiento de los aislamientos sólidos ha sido reconocido desde la década de 1920. Más tarde, a partir de la década de 1950, la mayoría de las compañías dedicadas al comercio y fabricación, tanto de materiales aislantes como MERGP, han reconocido la necesidad de controlar la ocurrencia de las DP, y su utilidad en el mantenimiento de dichas máquinas [3-4]. No obstante, e independientemente de lo argumentado por diversos autores y organizaciones [5-7], la decisión sobre el empleo de las DP para dar respuesta a la tarea acometida se sustentó en la *matriz de falla* [8, 9] aplicada al caso particular de los hidrogeneradores de EDELCA, teniendo en cuenta el contexto internacional.

Los controles a partir de las DP persiguen[10]:

- Determinar la presencia de DP y estimar su magnitud.
- Identificar el patrón de las DP.
- Estimar el daño causado por las DP.

A tal efecto existen dos métodos fundamentales: el análisis de su tendencia en el tiempo, y el análisis de patrones en atendiendo al ángulo de fase ϕ , magnitud U y la tasa de repetición de los pulsos \dot{U} . Para la aplicación del segundo método existen dos variantes principales: El análisis visual del patrón y el análisis de los operadores estadísticos, sobre el cual ha sido desarrollado este trabajo. Adicionalmente se emplean los *parámetros de cuantificación* de las DP [11], es decir el *comportamiento de intensidad media de la corriente integrada* (WQ) y la magnitud de las descargas (Q_{MA}) para el evaluar la evolución del envejecimiento del aislamiento.

En este trabajo se presentan la estructura propuesta para el diagnóstico del aislamiento principal de hidrogeneradores, la cual abarca las fallas a monitorear, la selección de las variables y parámetros de estado de diagnóstico, el

método de identificación de las fallas y el flujo de la información.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los generadores hidroeléctricos de grandes potencias son frecuentemente diseñados para una vida útil de 40 a 50 años sin rehabilitarse, siempre y cuando reciban un mantenimiento normal, tal como reacuñado o reemplazo de partes fatigadas. Sin embargo una de las tareas más complejas consiste en la determinación de las actividades de mantenimiento a realizar a su aislamiento, por cuanto algunas de las fallas que se le presentan son de carácter irreversible tabla 2 las que ponen en una condición de conteo final al aislamiento y por ende a la máquina en cuestión.

Tabla 2	
Fallas en el aislamiento de las MERGP según su característica	
Fallas Reversibles	
Presencia de Corrientes Superficiales	
Presencia de Humedad Superficial	
Presencia de Contaminación Superficial	
Presencia de Humedad Interna	
Daños en la protección semiconductor de ranura	
Daños en el anillo semiconductor	
Fallas Irreversibles	
Alteraciones en el Estado del Aglomerante	
Alteraciones en la Estructura Dieléctrica	
Presencia de Cavidades y Fisuras	

A. Descargas Parciales

Para el desarrollo del presente trabajo se contó con una instalación experimental compuesta por varios hidrogeneradores de tensión y potencia nominal superiores a 13,8 kV y 250 MVA, respectivamente, con sensores on-line para la medición de las DP.

Todos los ensayos se efectuaron con un sistema comercial profesional para el monitoreo y control del aislamiento on-line a partir de la medición de las DP.

Dicho sistema se caracteriza por un tiempo de restablecimiento que parte desde $5 \mu s$, ofreciendo un total de 256 ventanas de medición para cada período de tensión, lo cual se traduce en una exactitud de $1,8^\circ$. El circuito de medición empleado se muestra en la figura 1.

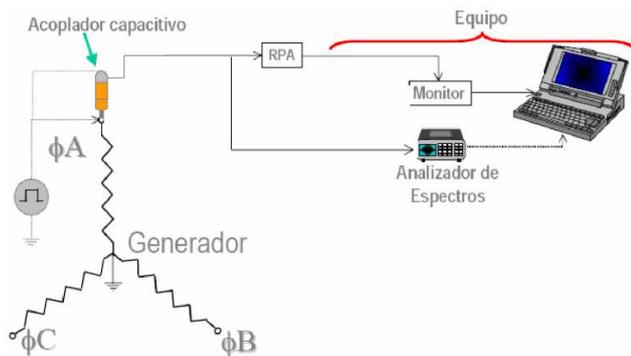


Fig. 1. Esquema para la medición de las DP en los hidrogenadores.

La interpretación de los espectros de DP mediante el Análisis de Patrones de Fases de Descargas Parciales (APFDP) a partir del análisis visual, ha sido empleada en EDELCA a partir del trabajo de sus expertos, quedando demostrado que cada patrón identificado, ha estado relacionado intrínsecamente a un mecanismo de deterioro, que venía desarrollándose en el aislamiento del estator del generador. Además, son conocidos los reportes de su automatización a partir de técnicas de inteligencia artificial [12-14]. Sin embargo, para cumplir con el objetivo trazado se consideró más conveniente el empleo de los Operadores Estadísticos de las Descargas Parciales (OEDP).

FALLAS A MONITOREAR

Teniendo en cuenta que los sistemas automatizados de diagnóstico requieren, además de su fiabilidad, ser óptimos en su empleo, condujo a la necesidad de monitorear sólo aquellos que fueran verdaderamente significativos. Para ello se debe tener en cuenta que a partir del ensayo de DP es posible distinguir su origen entre:

- DP internas. Ocurren en el seno del aislamiento del devanado dentro de huecos o cavidades.
- DP tipo corona. Ocurren en los extremos del devanado, en la denominada zona de transición.
- DP entre barras. Ocurren en la zona de las cabezas del devanado entre dos barras de diferentes fases.
- DP de ranura. Ocurren en el interior de las ranuras entre la superficie de las barras y el núcleo magnético.
- DP superficiales. En los extremos o cabezas del devanado.

Cada una de las cuales puede ser asociada a fallas particulares, tales como: degradación del aislamiento, pérdida de recubrimientos, problemas de fijación, contaminación, entre otras.

La decisión tomada, se sustenta en el comportamiento histórico de nuestra instalación experimental, adoptándose el criterio de monitorear aquellos que son de mayor incidencia, que en nuestro caso, como puede apreciarse de la Fig. 2 corresponde a las DP tipo corona y las DP entre barras. Siendo éstas, por lo tanto, las fallas a monitorear

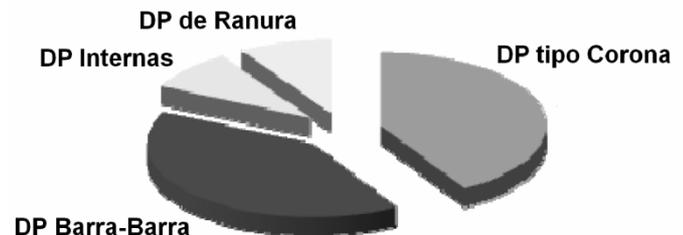


Fig. 2. Distribución típica de las fallas en los hidrogenadores de EDELCA.

SELECCIÓN DE LAS VARIABLES DE DIAGNÓSTICO

A través de los años se han desarrollado pruebas que han surgido producto de intensas investigaciones realizadas a muchas máquinas eléctricas. El fruto de estas investigaciones ha permitido establecer volúmenes de ensayos que, sin dañar el aislamiento, permiten estimar con cierta exactitud en qué condiciones se encuentra el mismo.

Los requisitos indispensables para acometer las pruebas son los siguientes: La MERGP que se prueba debe ser conocida; La instrumentación e instalación, con la cual se realicen los ensayos, debe satisfacer las exigencias y exactitud de los límites de medición; debe existir el programa de ensayos.

A tal efecto, ya en el año 1987 la CIGRE hizo una encuesta entre 16 países con experiencia en la explotación, producción y diagnóstico de las MERGP [15], en la que proponía un volumen de ensayos para el diagnóstico de las MERGP; a la vez que se han elaborado otras propuestas relativas a la secuencia y toma de decisiones para el diagnóstico del aislamiento [16-19]. Atendiendo a lo anterior así como a la experiencia de los autores, y en particular la del Centro de Investigaciones Aplicadas de EDELCA, se analizaron a partir de la matriz de falla un grupo de ensayos [20] cuyos resultados, de manera compacta, se muestran en la figura 3.

De los resultados obtenidos se destaca el hecho de que el cubrimiento de fallas del ensayo de DP fue un 50% superior al ensayo que más se le aproxima.

La instalación experimental cuenta con sensores *On-Line* para la conexión del sistema comercial

profesional de adquisición digital ICMsystem. Dicho sistema, que posibilita el monitoreo y control del aislamiento *on-line* a partir de la medición de las DP, almacena los resultados de la medición en un fichero .DAT que puede ser decodificado para obtener la información descrita en los párrafos o y o.

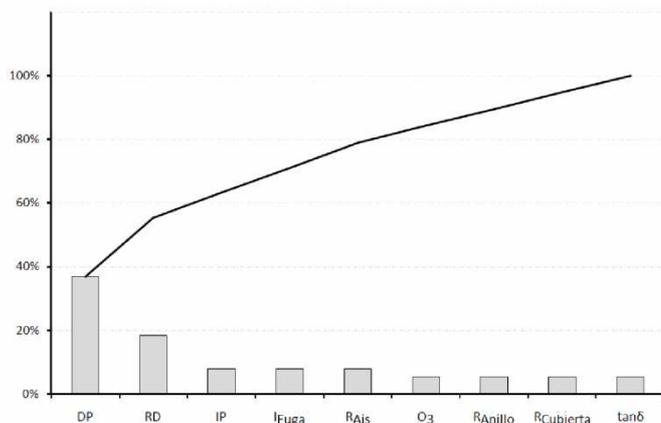


Fig. 3. Diagrama de areto correspondiente a las variables de diagnóstico evaluadas.

OPERADORES ESTADÍSTICOS DE LAS DESCARGAS PARCIALES

El empleo de los OEDP fue introducido por Okamoto y Tanaka en 1986 [21], y posteriormente mejorado por Gulski a partir de 1992 [10, 22-25] y ampliamente retomado para su generalización y perfeccionamiento por diversos autores [26-31]. Su veracidad se sustenta en que las DP responden a un fenómeno estocástico y por tanto, para poder estudiarlo y analizarlo se deben obtener las distribuciones estadísticas de sus principales características en función del ángulo de fase de la tensión en que ocurren. Las distribuciones estadísticas empleadas son las siguientes:

- $H_{qmax}(\varphi)$; representa el valor máximo de los pulsos de DP en cada ángulo de fase.
- $H_{qn}(\varphi)$; representa el valor medio de los pulsos de DP en cada ángulo de fase.
- $H_n(\varphi)$; representa el total de pulsos de DP en cada ángulo de fase.

Los OEDP incluyen tanto a indicadores de dispersión (Skewness y Kurtosis) como otros, ampliamente aceptados, introducidos por Gulski [23].

Los Operadores Estadísticos de la Descargas Parciales más aceptados en la actualidad son:

- Skewness (S) : describe la asimetría de la distribución con respecto a una normal.
- Kurtosis (K) : Representa lo escarpado de la distribución con respecto a una normal.

– Número de picos (P) : Distingue entre las distribuciones de un solo pico y con varios picos (distribuciones multimodales).

– Factor de correlación cruzado (C) : Indica la diferencia de forma entre las distribuciones de los semiciclos positivo y negativos, respectivamente $H_{qmax}^+(\varphi)$, $H_{qn}^+(\varphi)$, $H_n^+(\varphi)$ y $H_{qmax}^-(\varphi)$, $H_{qn}^-(\varphi)$, $H_n^-(\varphi)$.

– Asimetría de la DP (A) : Es el cociente del nivel medio en los semiciclos positivo y negativo de las distribuciones $H_{qmax}^+(\varphi)$, $H_{qn}^+(\varphi)$ y $H_n^+(\varphi)$.

– Factor de correlación cruzado modificado (mc) : Es el resultado del producto entre Factor de correlación cruzado y la asimetría de la DP.

La utilidad de los OEDP en el diagnóstico del aislamiento consiste en que es posible describir el comportamiento de todas las distribuciones anteriores mediante una *huella dactilar* que es posible asociar a las fallas que se presenten en el aislamiento. En el caso de este trabajo el objetivo es identificar las huellas dactilares que se establecen en el título o (Fallas a Monitorear).

Por otra parte la experiencia adquirida indica que es posible establecer que la detección de las DP tipo *corona* y las DP entre barras mediante el sistema de adquisición digital ICMsystem. Las mediciones *On-Line* no requieren de modificaciones adicionales al circuito de medición (ver Fig. 1), pues el sistema es sensible a ambas fallas con el empleo de un mismo filtro de frecuencia RPA1 de 2 a 20 MHz siendo suficiente un tiempo de adquisición de 30 segundos [11].

Parámetros de Cuantificación de las DP

Debido a que el empleo de los OEDP posibilita la detección de la presencia de fallas específicas pero no permite evaluar el grado de deterioro del aislamiento. Para ello se emplean la intensidad media de la corriente integrada (I_{Q}) y la amplitud máxima de las DP (Q_{mi}) . Los valores de amplitud de las descargas (Q_{mi}) y corriente de descarga (I_{Q}) , caracterizan totalmente las fallas del aislamiento y conducen adecuadamente un diagnóstico del deterioro del aislamiento.

El control de la evolución de estos parámetros posibilita evaluar de forma segura el deterioro del aislamiento de los hidrogenadores. Ver figura.4.

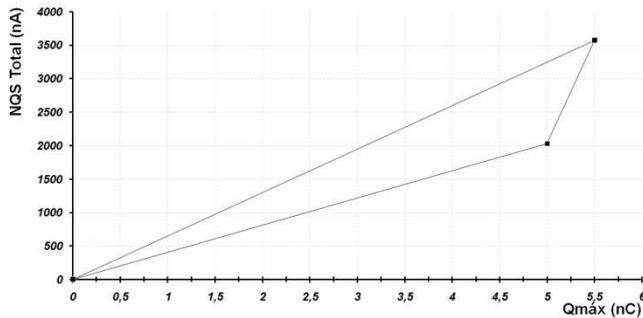


Fig. 4. Ejemplo de representación gráfica de los parámetros de cuantificación de las DP. NQS vs. Q_{máx}.

Es de destacar que tanto la obtención de los parámetros estadísticos y las correspondientes huellas dactilares previamente identificadas, así como la determinación de los parámetros de cuantificación y su análisis evolutivo puede efectuarse en unos pocos milisegundos, lo cual cumple con los requisitos planteados para la tarea.

OTRAS VARIABLES DE DIAGNÓSTICO

Atendiendo a que las DP son afectadas por diversos factores, para llegar a un diagnóstico aceptado, el sistema debe tener en cuenta, además, la siguiente información, que es ya recolectada en la actualidad para otros objetivos:

- Potencia activa.
- Potencia reactiva y su polaridad.
- Tensión de línea.
- Corriente de carga de cada fase.
- Temperatura del estator. Temperatura mínima y temperatura máxima.
- Corriente y tensión de excitación.

ESTRUCTURA GENERAL DEL SISTEMA

Una vez establecidas las fallas a monitorear y las variables de diagnóstico que serán empleadas se estructura el sistema de diagnóstico a emplear, cuya función será:

- Emitir el diagnóstico en tiempo real sobre las fallas más frecuentes en el aislamiento.
- Conocer la velocidad de deterioro o envejecimiento de los generadores de la instalación experimental.

El sistema está conformado por los siguientes bloques:

Primer bloque; está constituido por los hidrogenadores, el segundo bloque por un multiplexor que posibilitará, primero, la conmutación de las fases medidas y, segundo, la conmutación entre los hidrogenadores bajo control.

Segundo bloque; está conformado por el sistema de adquisición digital ICMsystem.

Tercer bloque; Software de decodificación de ficheros .DAT

Cuarto bloque; Sistema de cálculo de los OEDP y los parámetros de cuantificación.

Quinto bloque; bloque de diagnóstico (sistema para la identificación de huellas dactilares, análisis de deterioro y envejecimiento).

Sexto bloque; Sistema de codificación, transmisión y almacenamiento de datos.

En la literatura consultada, existen múltiples propuestas para el diagnóstico en tiempo real del aislamiento principal de las MERGP a partir de las DP[12, 14, 32, 33], sin embargo, el esquema presentado, se distingue de los anteriores por su robustez y relativa sencillez.

CONCLUSIONES

Los controles mediante descargas parciales son los más efectivos para evaluar, diagnosticar y predecir con confiabilidad y seguridad, la condición del aislamiento del devanado del estator del generador.

Para el caso de los grandes hidrogenadores de la empresa EDELCA en la República Bolivariana de Venezuela, donde el predominio de las DP son de tipo corona y barra-barra (en los extremos o cabezales del devanado) en condiciones normales de operación, es posible la implementación del sistema propuesto para el desarrollo de controles en tiempo real.

Es importante destacar que el empleo de las *huellas dactilares* reportadas no coincidió con defectos esperados por lo cual se identifican las propias de nuestra instalación, dicha tarea es de gran magnitud y no es abordada en este trabajo.

La obtención de los parámetros estadísticos con sus correspondientes huellas dactilares previamente identificadas, así como la determinación de los parámetros de cuantificación N y Q_m , correlación y análisis evolutivo presentado en el trabajo, conformarían las bases para diseño estructural del sistema de diagnóstico aplicando inteligencia artificial, que permitiría evaluar el nivel de deterioro del aislamiento del devanado de grandes hidrogenadores en tiempo real.

RECONOCIMIENTOS

Los autores quieren agradecer al Ing. Víctor Collazo, su colaboración en la descripción del sistema SCADA de la hidroeléctrica Planta Macagua y las variables relacionadas, así como por su participación en la estructura del diseño propuesto en el trabajo.

REFERENCIAS

- [1]Н. Ф. Котеленец and Н. Л. Кузнецов, Испытания и Надёжность Электрических Машин. Москва, СССР: Высшая Школа, 1988.
- [2] "Hydrogenerator Failures - Results of the Survey," *Study Committee SC11* (Equipment Group EG 11-02) CIGRÉ Ago. 14, 2003 2003.
- [3]J. S. Johnson.: "A Maintenance Inspection Program for Large Rotating Machines," *AIEE Transactions*, vol. 70, pp. 749-754, 1951 1951.
- [4]S. M. Tetrault, G. C. Stone, and H. G. Sedding, : "Monitoring Partial Discharges on 4-kV Motor Windings," *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 35, pp. 682 - 688, May-June 1999 ..
- [5]*IEEE Trial-Use Guide to the Measurement of Partial Discharges in Rotating Machinery*, IEEE Std 1434-2000.
- [6]G. C. Stone and V. Warren:"Objective Methods to Interpret Partial-Discharge Data on Rotating-Machine Stator Windings," *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 42, pp. 195-200, Jan.-Feb. 2006 .
- [7]G. C. Montanari and A. Cavallini : "Insulation Condition Assessment of Power Equipments in Electrical Assets Based on Online Monitoring of Partial Discharges," in *CMD'08*, Beijing, China, 2, p. 7, 2007.
- [8] Fernández, García,S.J. : "Diagnóstico en Tiempo Real," *Automatizando*, vol. III, pp. 22-26, Ene-Mar 1998 .
- [9] Fernández García, S. J. : "Diagnóstico, Táctica y Estrategia," *Energética*, vol. XX, pp. 47-53, Abril de 1999 .
- [10]E. Gulski : "Digital Analysis of Partial Discharges," *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, vol. 2, p. 16, October 1995.
- [11]Torres, W. J. : "Reconocimiento de Patrones de Descargas Parciales en Hidrogeneradores de Gran Potencia Usando Análisis PRPD," in III Convención Internacional de Ingeniería Mecánica, Eléctrica e Industrial (CIMEI 2006), Villa Clara, Cuba, p. 10.2006.
- [12]K. Zalis : "Application of Expert Systems in Evaluation of Data from Partial Discharge Diagnostic Measurement," in 7th International Conference on Properties and Applications of Dielectric Materials, Nagoya, Japan, pp. 331-334. 2003.
- [13]Reyes, M. O. A. and H. O. de la Torre Vega: "Sistema AnGel: Aspectos Teórico-Prácticos para el Diagnóstico de Generadores en Operación," *Boletín IIE*, pp. 51-57, Abril-Junio 2005.
- [14]García-Colón V. R.; R. González Melchor, and M. E. Hernández Valois, : "Procesamiento Digital de Imágenes para la Clasificación en Línea de Patrones de Descargas Parciales en Equipo Eléctrico," in *IEEE Latin America Transactions*. vol. 5, pp. 287-293.2007.
- [15]R. H. Schuller : "Report on Diagnosis and Monitoring for Evaluating the Condition of windings of Rotating Electrical Machines," *ELECTRA*, pp. 9-16, May 1987 1987.
- [16]G. C. Stone, I. Culbert, and H. Dhirani: "Flowchart Procedure to Assess the Condition of Turbine Generator Insulation," *IEEE Transactions on Energy Conversion*, vol. 5, pp. 546 - 552, Sept. 1990 .
- [17]"Facilities Instructions, Standards, and Techniques. Testing Solid Insulation of Electrical Equipment." vol. 3-1 Denver, Colorado (CO), United States of America: National Technical Information Service (NTIS); United States Department of the Interior Bureau of Reclamation, p. 83.2000.
- [18]*Standard for Systems of Insulating Materials – General*, UL 1446 (Revisions UL 1446 of July 29, 2004).
- [19]Zurita, García, Y. : "Diagnóstico Integral de Máquinas Eléctricas Rotatorias de Gran Potencia en la Empresa Termoeléctrica Cienfuegos", Tesis en opción al Título de Especialista de Diagnóstico Integral de Centrales y Subestaciones Eléctricas; Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría (CUJAE): Ciudad de La Habana, Cuba,. 99 p 2007.
- [20] Torres, W. J. and S. A. Dorrbercker Drake, : "Matriz de Impacto de Fallos para el Diagnóstico del Aislamiento del Estator de Grandes Hidrogeneradores," in VIII Congreso Latinoamericano y V Iberoamericano en Alta Tensión y Aislamiento Eléctrico ALTAE 2007, Cuernavaca, Morelos, México, p. 6.2007.
- [21]Okamoto, T. and T. Tanaka: "Novel PD Measurement Computer-Aided Systems," *IEEE Transactions on Electrical Insulation*, vol. EI--21, 1986.
- [22]E. Gulski and F. H. Kreuger : "Diagnostics of Insulating Systems Using Statistical Tools," in *IEEE International Conference on Electrical Insulation*, pp. 393-393.1992.
- [23]E. Gulski and F. H. Kreuger : "Computer-aided Recognition of Discharge Sources," *IEEE Transactions on Electrical Insulation*, vol. 27, p. 11, February 1992 .
- [24]E. Gulski and F. H. Kreuger : "Determination of Discharge Sources by Analysis of Discharge Quantities as a Function of Time," in *IEEE International Symposium on Electrical Insulation*, Baltimore, Maryland (), United States of America, pp. 397 - 400.1992.
- [25]E. Gulski : "Computer-aided Measurement of Partial Discharges in HV Equipment," *IEEE Transactions on Electrical Insulation*, vol. 28, p. 15, December 1993 .
- [26]Maqrashi, A. A. : "Pattern Recognition of Partial Discharges Using Matlab Tools," pp. 197-201.
- [27]M. R. Amini et al : "Automated Statistical Recognition of Partial Discharges in Insulation Systems," in *ICAAAN'98*, p. 6.1998.
- [28]C. Chang and Q. Su : "Extraction of PD Fingerprints using Correlation Learning," *IEE*

Conference Publications, vol. 2000, pp. 300-305, 2000.

[29]H. Edin : *Partial Discharges Studied with Variable Frequency of the Applied Voltage*, Tesis en opción al Grado de Doctor en Ciencias Técnicas; Kungl Tekniska Högskolan. Stockholm, Sweden,. 163 p 2001.

[30]B. Yazici : "Statistical Pattern Analysis of Partial Discharge Measurements for Quality in High Assessment of Insulation Systems Voltage Electrical Machinery," in *SDEMPED 2003, Atlanta, Georgia (GA), United States of America*, pp. 158-161.2003.

[31]M. Fenger and G. C. Stone : "Application of Statistical Summary Numbers to Rotating Machine PD for Non-Expert Identification of Multiple Aging Mechanisms," in *IEEE International Conference on Electrical Insulation, Indianapolis, Indiana (IN), United States of America*, pp. 418-421. 2004.

[32]B. A. Lloyd et al : "Continuous On-Line Partial Discharge Monitoring of Generator Stator Windings," *IEEE Transactions on Energy Conversion*, vol. 14, pp. 1131 - 1138 Dec. 1999.

[33] de la Torre, Vega H. O.:"Sistema AnGel: para el Diagnóstico de Generadores en Operación," *Boletín IIE*, pp. 62-68, Abril-Junio 2005.

AUTORES

William J. Torres Medina

Ingeniero Electricista

Especialista II en Aislamiento Eléctrico

Centro de Investigaciones Aplicadas.

EDELCA filial de CORPOELEC

e-mail: wtorres@edelca.com.ve.

Santiago A. Dorrbercker Drake

Ingeniero Electricista.

Dr. en Ciencias Técnicas

Investigador Auxiliar del CIPEL

e-mail: dorr@electrica.cujae.edu.cu

Ivón O. Benítez González

Ingeniera en Automática.

Estudiante Master en informática Industrial y Automatización.

Profesor Instructor del ISPJAE

e-mail: novi@electrica.cujae.edu.cu