



Comité Nacional Venezolano

III CONGRESO VENEZOLANO DE REDES Y ENERGÍA
ELÉCTRICA

Marzo 2012

A3-82

MODELACIÓN Y REPRODUCCIÓN DE DESCARGAS PARCIALES EN SISTEMA DE AISLAMIENTO PUNTA-PLACA EN ACEITE DIELECTRICO

J. Varela J. Ramírez J. Aller
Centro de Investigaciones Aplicadas de CORPOELEC
Universidad Simón Bolívar

RESUMEN

El estudio de las descargas parciales (DP) en sistemas aislantes aceite-papel es muy importante para el reconocimiento de fallas incipientes en transformadores inmersos en aceite dieléctrico. En este trabajo se presenta la modelación de DP por control de campo eléctrico en un sistema de aislamiento punta-placa en aceite e interfaz aceite-papel en punta-placa, empleando la técnica de análisis por elementos finitos en tres dimensiones. También se muestran las características de los patrones de DP obtenidos en los experimentos. Estos resultados son útiles para comparación con DP en transformadores y para continuar la investigación.

PALABRAS CLAVE

Descargas parciales, aislamiento aceite-papel, transformador, patrones de descargas parciales.

INTRODUCCIÓN

El estudio de las DP en sistemas aislantes aceite-papel es muy importante para el reconocimiento de fallas incipientes en transformadores inmersos en aceite dieléctrico. Los patrones de DP obtenidos en laboratorio pueden servir para comparación con los registros de DP medidos en transformadores en servicio, facilitando la detección de la fuente de DP.

Para que ocurran DP es necesario que se formen cavidades o regiones débiles dentro del dieléctrico y que exista un campo eléctrico local superior a la rigidez dieléctrica de esas regiones débiles, entre otros requisitos [1]. En el caso de un sistema aislante aceite-papel, las DP pueden originarse en las siguientes regiones débiles:

- Cavidades formadas durante el proceso de fabricación del transformador.
- Inclusiones de materiales contaminantes.
- Cavidades en el aceite resultantes de cavitación de bombas.
- Burbujas en el aceite formadas por productos gaseosos como resultado de degradación térmica de la celulosa.
- Burbuja en celulosa impregnada con aceite por adsorción de humedad.

Teniendo en cuenta estas fuentes de DP, en este trabajo se modelaron DP por control de campo eléctrico en un sistema de aislamiento punta-placa en aceite e interfaz aceite-papel en punta-placa, empleando la técnica de análisis por elementos finitos (AEF) en tres dimensiones. También se muestran las características de los patrones de DP obtenidos en los experimentos.

El sistema de aislamiento punta-placa en aceite dieléctrico fue utilizado para reproducir DP de burbujas en aceite o DP de inclusiones en aceite dieléctrico ante campo eléctrico no uniforme por punta aguda, por ejemplo, daño en cable de alta tensión (pérdida de papel encintado) que conecta el devanado a un aislador pasante “bushing”. El sistema de aislamiento interfaz aceite-papel con electrodos punta-placa en aceite dieléctrico fue utilizado para reproducir DP que ocurren por campo eléctrico no uniforme de puntas agudas en medio aislante compuesto de aceite y papel. Estas DP también pueden aparecer por presencia de burbujas de humedad en la interfaz aceite-papel ante campo eléctrico en punta aguda.

MODELACIÓN DE DP EN SISTEMA DE AISLAMIENTO PUNTA-PLACA EN ACEITE DIELECTRICO

Para la reproducción de DP en un sistema de aislamiento punta-placa en aceite e interfaz aceite-papel en punta-placa, se diseñó y construyó un sistema para reproducción de DP en muestras de aislamiento de transformadores (SISTDPMTRS) [2], el cual se aprecia en la figura 1. Este sistema consta básicamente de un conjunto de electrodos de placas paralelas con bordes redondeados para obtención de campos eléctricos uniformes o de electrodos punta-placa para reproducción de campos eléctricos no uniformes. El tanque y la base del conjunto de electrodos van conectados a tierra, mientras que los electrodos superior e inferior están aislados con aceite dieléctrico y tres columnas aislantes y van conectados al circuito de ensayos a través de los aisladores de alta tensión (AT) y de baja tensión (BT).

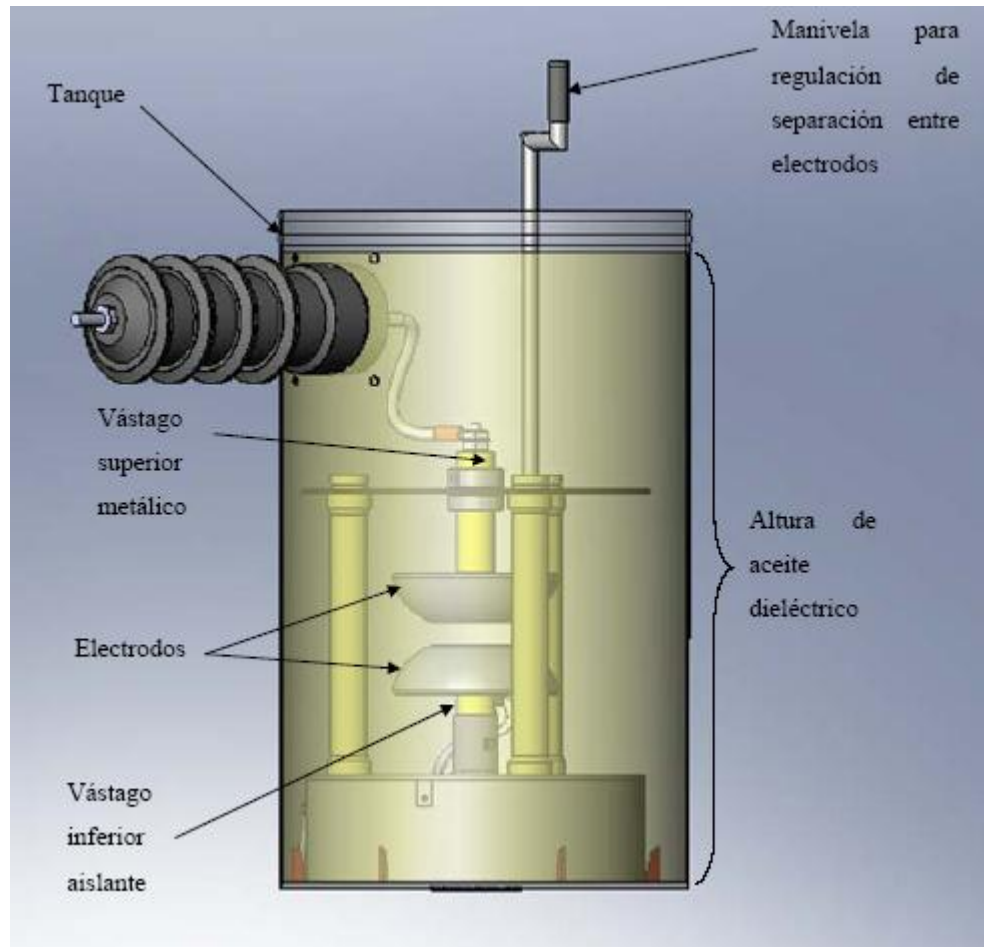


Fig.1. Sistema para reproducción de DP en muestras de aislamiento de transformadores [2]

Para el diseño del SISTDPMTRS se evaluó el campo eléctrico con la aplicación “Electro Static” del programa de AEF en tres dimensiones denominado FLUX @ 9.30, del fabricante CEDRAT. También se empleó la técnica de AEF para determinar bajo qué condiciones de tensión efectiva (URMS) y separación entre electrodos (SEPAR) se inician las DP en los modelos bajo estudio, asumiendo que éstas aparecen en una cavidad esférica llena con aire y de diámetro 1 mm, cuando el campo eléctrico en el interior de la cavidad (E_{esf}) supera la rigidez dieléctrica del aire.

Tabla I. Condiciones URMS y SEPAR para inicio de DP en los sistemas de aislamiento de transformadores según AEF [2]

Sistema de aislamiento	URMS kV	SEPAR mm
Punta-placa en aceite	7	15
Interfaz aceite-papel con electrodos punta-placa	13,6	17

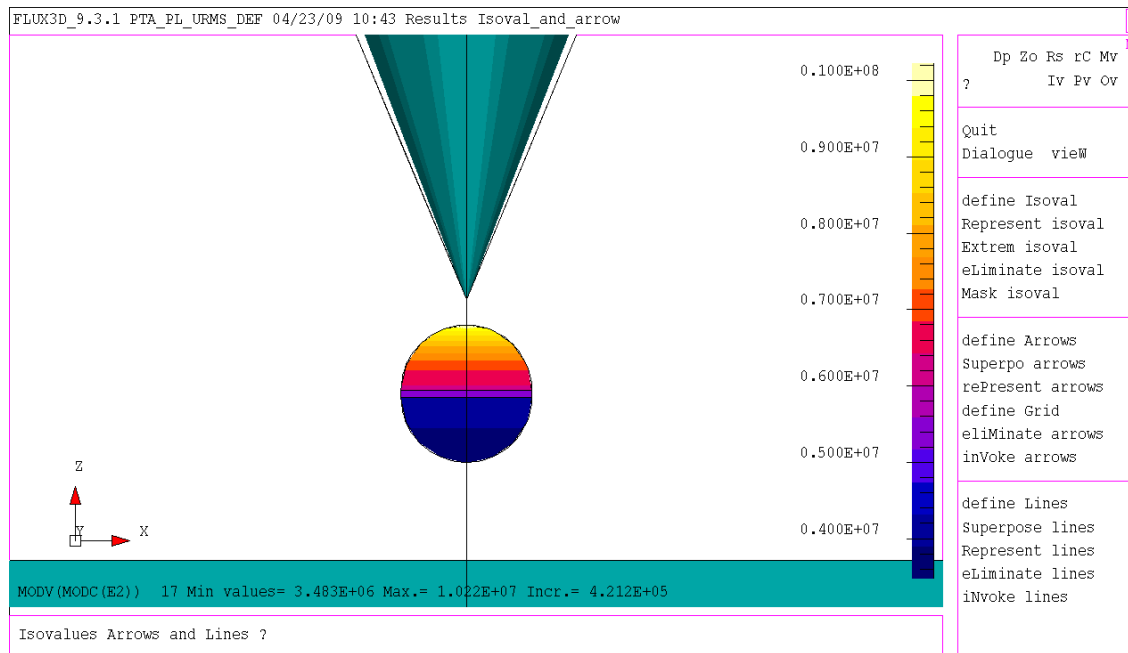


Fig. 1. E_{esf} para URMS = 7 KV y SEPAR = 15 mm en punta-placa en aceite [2]

REPRODUCCIÓN DE DP EN SISTEMA DE AISLAMIENTO PUNTA-PLACA EN ACEITE DIELECTRICO

En este trabajo se utilizó el equipo detector de DP digital marca Power Diagnostix, modelo ICMSsystem, siguiendo el procedimiento según la norma IEC 60270 [3]. Este equipo está controlado por computador completamente a través de una interfaz de usuario gráfica, la cual se denomina ICM - Instrumento Virtual. El registro de los impulsos de DP está fundamentado en la técnica de Descarga Parcial en función del ángulo de fase, (PRPD del Inglés “Phase Resolving Partial Discharge”), la cual registra la fase de ocurrencia del impulso de DP con respecto a la tensión de la red (ϕ_{imp}), la carga aparente (Q_{ap}) y el número de impulsos de DP de cada par Q_{ap} y ϕ_{imp} (Z_{DP}). También se utilizó el análisis de gases disueltos en el aceite (AGD) según la norma IEC 60599 [4] como técnica complementaria para la detección de DP

Las DP punta-placa en aceite se obtuvieron a partir de 7,6 kV. Estos tipos de DP fueron difíciles de reproducir, siendo necesario efectuar mediciones con un tiempo de muestreo (TM_u) = 600 segundos. En experimentos realizados por Pompili et al (2005) [5] también se empleó TM_u = 600 segundos. En la figura 3 se aprecia el mapa de DP con un solo impulso obtenido a URMS = 16 kV, cerca del pico negativo de la tensión ($\phi_{imp} = 271,4$ grados) y con $Q_{ap} = 0,18$ nC. Este valor de ϕ_{imp} coincide con resultados obtenidos por Pompili et al (1998) [6]: los impulsos de DP ocurren usualmente en los picos de la onda de tensión aplicada o cerca de los picos. En la figura 4 se muestra un mapa de DP punta-placa en aceite a 16 kV con 19973 impulsos de DP.

Las DP interfaz aceite-papel con electrodos punta-placa aparecieron a 14 y 15 kV. Estas DP fueron más fáciles de reproducir que en la muestra DP punta-placa en aceite, requiriéndose registros de solo 60 segundos. Muy pocos impulsos se ubicaron en el medio ciclo positivo de la

onda de tensión y muchos en el medio ciclo negativo, entre los 65 y 105 grados y entre los 230 y 280 grados (ver figura 5).

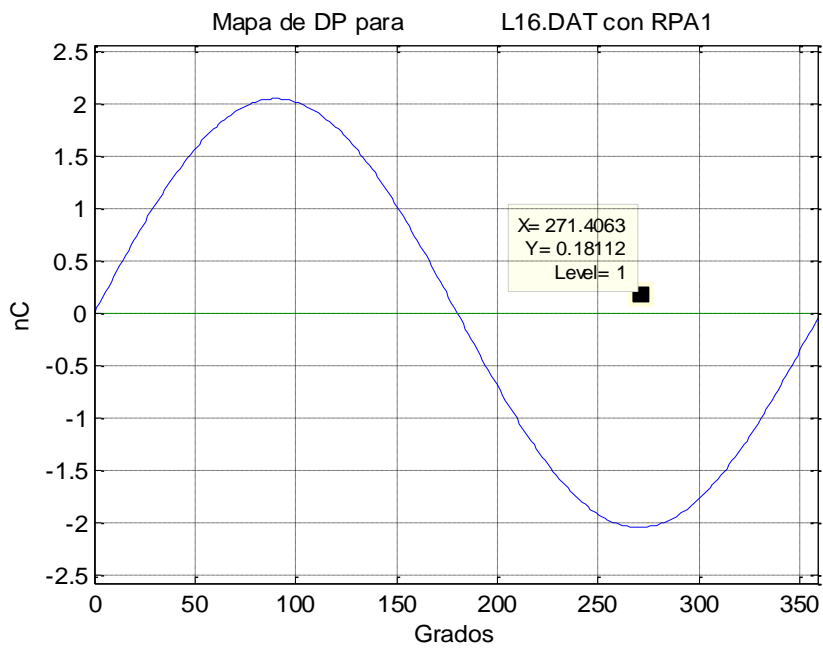


Fig. 3. Mapa de DP en muestra punta-placa en aceite con un impulso en 271,4 grados [2]

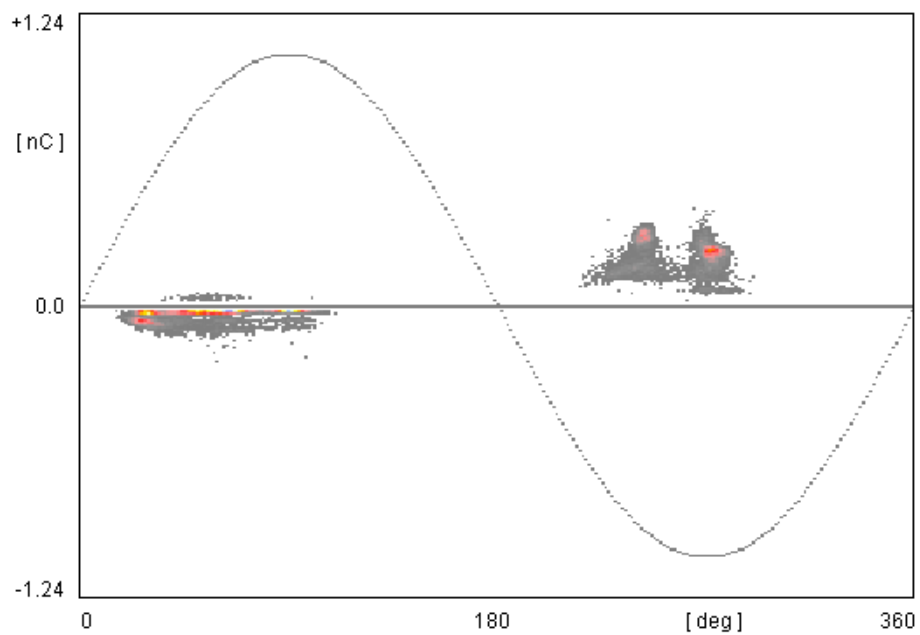


Fig. **Error! No text of specified style in document..** DP punta-placa en aceite a 16 kV: 19973 impulsos de DP [2]

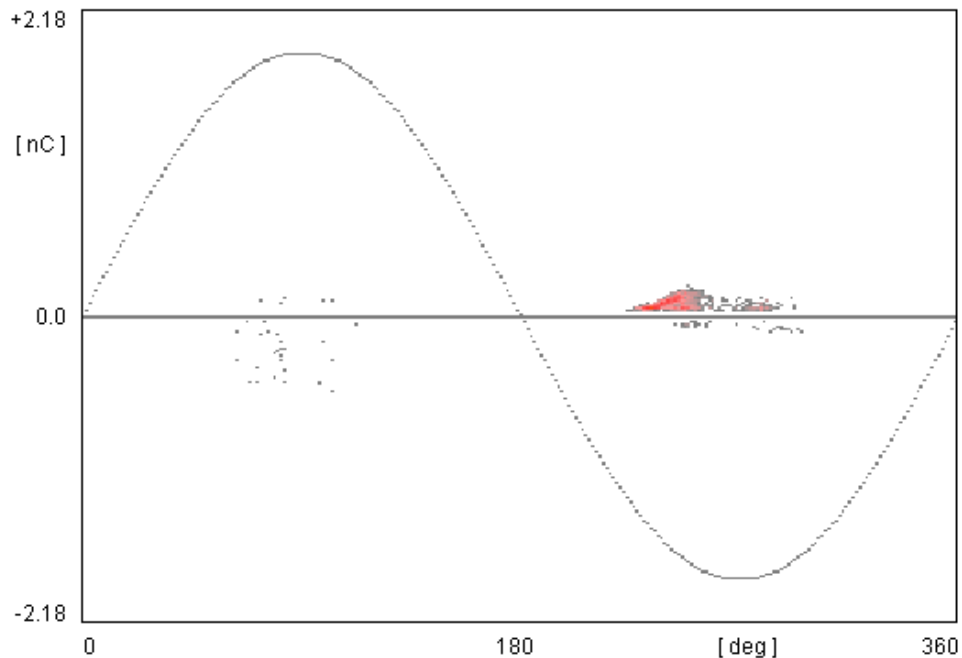


Fig. 5. DP interfaz aceite-papel con electrodos punta-placa: 1477 impulsos de DP [2]

CARACTERÍSTICAS DE PATRONES DE DP EN SISTEMA DE AISLAMIENTO PUNTA-PLACA EN ACEITE DIELECTRICO

Las características de los patrones de DP obtenidos son las siguientes [2]:

Sistema de aislamiento DP punta-placa en aceite:

- Muy difíciles de reproducir, pues se requiere de tensión elevada y tiempo de registro muy prolongado.
- Tasa de repetición de impulso (TASADP) muy baja (TASADP media igual a 26 impulsos por segundo con tiempo de muestreo de 600 segundos).
- Impulsos de DP ubicados entre los 20 y 100 grados y entre los 190 y 285 grados aproximadamente.
- Cambios de carácter aleatorio: los impulsos son principalmente positivos en el medio ciclo positivo de la tensión y negativos en el medio ciclo negativo de la tensión o al contrario.
- No detectadas por AGD.

Sistema de aislamiento DP interfaz aceite-papel con electrodos punta-placa:

- Difíciles de reproducir, ya que aparecen a tensión elevada, aunque con tiempo de muestreo corto.

- Tasa de repetición de impulso baja (TASADP media igual a 27 impulsos por segundo con tiempo de muestreo de 60 segundos).
- Impulsos de DP ubicados entre los 65 y 105 grados y entre los 230 y 280 grados.
- Muy pocos impulsos en el medio ciclo positivo de la onda de tensión y muchos en el medio ciclo negativo.
- Impulsos de DP principalmente negativos en el medio ciclo positivo de la tensión y positivos en el medio ciclo negativo.
- No detectadas por AGD.

CONCLUSIONES

1. El cálculo de campo eléctrico según la técnica de AEF permitió la modelación de DP en el sistema de aislamiento punta-placa en aceite e interfaz e interfaz aceite-papel en punta-placa, por control de campo eléctrico, variando la tensión y la separación entre los electrodos.
2. El sistema para reproducción de DP en muestras de aislamiento de transformadores simuló satisfactoriamente condiciones ante campos eléctricos no uniformes.
3. La técnica de detección de DP en función del ángulo de fase “Phase Resolving Partial Discharge” distinguió las DP punta-placa en aceite e DP interfaz aceite-papel con electrodos punta-placa.
4. El AGD según la norma IEC 60599 (1999) [49] no detectó DP en el sistema de aislamiento punta-placa en aceite e interfaz aceite-papel con electrodos punta-placa. La tensión aplicada no fue suficientemente alta para producir gran cantidad de calor que generase cantidades considerables de gases disueltos en aceite.
5. Los resultados de este trabajo son útiles para comparación con DP en transformadores y para continuar la investigación.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Fuhr, J. “Procedure for Identification and Localization of Dangerous PD Sources in Power Transformers” (IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, Volume 12, No. 5, October 2005, pages 1005-1014).
- [2] Varela, J. “Identificación de Patrones de Descargas Parciales en Muestras de Aislamiento de Transformadores. Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al grado académico de Magister en Ingeniería Eléctrica” (Universidad Simón Bolívar, Valle de Sartenejas, Caracas, Venezuela, Junio de 2011).
- [3] IEC 60270 “High-voltage test techniques - Partial discharge measurements” (2000).
- [4] IEC 60599 “Mineral oil-impregnated electrical equipment in service – Guide to the interpretation of dissolved and free gases analysis” (1999).
- [5] Pompili, M., Mazzetti C. and Bartnikas, R. “Partial Discharge Pulse Sequence Patterns and Cavity Development Times in Transformer Oils under ac Conditions” (IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, Volume 12, No. 2, April 2005, pages 395-403).

- [6] Pompili, M., Mazzetti C. and Bartnikas, R. “Simultaneous Ultra Wide and Narrowband Detection of PD Pulses in Dielectric Liquids” (IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, Volume 5, No. 3, June 1998, pages 402-407).