

Ubicación de las Descargas Parciales en Transformadores de Potencia

Detlev W. Gross, Markus Söller
Power Diagnostix Systems GmbH -Aachen, Alemania



Partner: Inducor Ingeniería S.A. - Buenos Aires Argentina - www.inducor.com.ar

Resumen

Las descargas parciales (DP) internas en transformadores de gran Potencia, detectadas tanto durante las pruebas de aceptación, por el análisis de gases disueltos (DGA), como por mediciones en campo; a menudo indican degradación incipiente o en curso del sistema de aislamiento. La estructura interna de los transformadores de gran potencia es muy compleja. Abrir un transformador para realizar mediciones de diagnóstico, consume tiempo y es muy costoso.

Es por eso que usualmente las mediciones de diagnóstico son limitadas a los terminales accesibles, y a las paredes externas de la cuba. Las restricciones de tiempo y las consideraciones de costo reducen aún más las técnicas aplicables.

Son discutidas en este escrito, las estrategias y sus limitaciones para identificar la ubicación de las descargas parciales, utilizando el análisis de la posición, forma y fase de los patrones de DP, bajo diferentes configuraciones de excitación. Además, analizar las señales eléctricas, tanto en función de las frecuencias, como así también en el dominio del tiempo, ofrece indicaciones adicionales sobre la ubicación.

Finalmente, las señales acústicas capturadas en la pared de la cuba acotan el área de la actividad de DP.

1- Introducción

Los grandes transformadores de potencia, normalmente tienen un diseño muy complejo. Los bobinados terciarios y los load tap changer incorporados, otorgan una complejidad adicional.

El sistema tradicional de aislación de papel impregnado en aceite, ofrece una cierta estabilidad contra las degradaciones causadas por la actividad de DP en proceso. Sin embargo, las demandas actuales por una mayor optimización del diseño, y el aumento consecuente en el trabajo de campo, reducen el margen dado por el diseño tradicional. Además, el uso del conjunto transformador/bushing, hace obligatorias las mediciones de DP de bajo nivel. Por otro lado, cualquier intento de abrir y reparar un transformador dañado, es una tarea que demanda mucho tiempo y costos. Por eso, cuanto mayor información se obtenga sobre el tipo, riesgo y ubicación de las actividades de DP, resulta esencial para la planificación efectiva de cualquier intento posterior de reparación.

2- Análisis de Gas Disuelto

Existe una amplia experiencia que correlaciona la presencia de diferentes gases disueltos en el aceite de los transformadores, con sus defectos específicos, incluyendo las actividades de DP. Además, el análisis de gases disueltos, también brinda indicaciones sobre el recalentamiento, envejecimiento del papel y de arcos internos, por ejemplo.

El análisis se centra principalmente en hidrocarburos y óxidos de carbono.

(H₂, CH₄, C₂H₂, C₂H₄, C₂H₆, CO, and CO₂) [1, 6].

3. Ensayos de aceptación en instalaciones

Los transformadores de alta tensión, se someten a extensas pruebas de aceptación en las instalaciones, incluyendo en la mayoría de los casos ensayos de DP, (Fig. 1), que sustituyen progresivamente a los ensayos RIV de tiempo atrás.



Fig. 1 – Instrumento de adquisición de descargas parciales de ocho canales en paralelo

Un correcto ensayo de aceptación de DP, solo es posible utilizando un detector que ofrezca mediciones paralelas y en tiempo real, sobre una multitud de canales, mientras el transformador es energizado en forma trifásica durante las pruebas de tensión inducida.

La Fig. 2 muestra el panel de control del software del multicanal detector de DP en modo de prueba de aceptación.

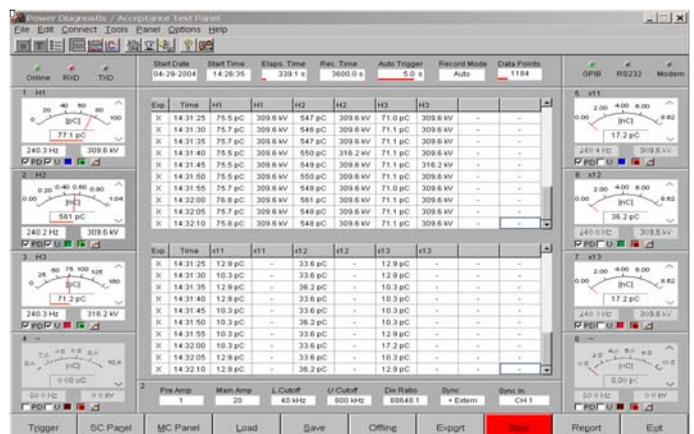


Fig. 2- Adquisición de DP en 8 canales en paralelo, panel s/w.

Cross Coupling Calibration Matrix								
	Ch1	Ch2	Ch3	Ch4	Ch5	Ch6	Ch7	Ch8
Ch1	10.8 pC	5.05 pC	4.88 pC	51.4 pC	51.4 pC	51.4 pC	51.4 pC	51.4 pC
Ch2	1.82 pC	98.8 pC	1.87 pC	222 pC	222 pC	222 pC	222 pC	222 pC
Ch3	4.38 pC	9.04 pC	10.0 pC	66.3 pC	66.3 pC	66.3 pC	66.3 pC	66.3 pC
Ch4	0.24 pC	0.24 pC	0.24 pC	0.03 pC	3.76 pC	3.76 pC	3.76 pC	3.76 pC
Ch5	0.88 pC	0.07 pC	0.06 pC	1.12 pC	0.00 pC	1.12 pC	1.12 pC	1.12 pC
Ch6	0.11 pC	0.12 pC	0.11 pC	4.84 pC	4.84 pC	8.00 pC	4.84 pC	4.84 pC
Ch7	0.88 pC	0.04 pC	0.03 pC	1.12 pC	1.12 pC	1.12 pC	0.03 pC	1.12 pC
Ch8	0.14 pC	0.15 pC	0.15 pC	1.93 pC	1.92 pC	1.92 pC	1.92 pC	0.80 pC
Date	04-09-02	04-09-02	04-09-02					
Time	11:27:33	11:28:10	11:29:21					
Cal Channel	Ch 2		Cal Charge		10.0		Table	
							Absolute	
Clear	Copy			CAL pC	CAL nC			Close

Fig. 3 – Matriz de calibración durante la calibración

Durante la etapa de calibración, que prepara al instrumento para la prueba de aceptación, se forma una matriz llamada matriz de acoplamiento o de calibración trasversal (transferencia). Esta matriz muestra las lecturas de todos los canales disponibles mientras una señal de calibración es aplicada a uno de los puntos de medición. Con la calibración en proceso, esta matriz es terminada y corregida paso a paso. Al finalizar la calibración, esta matriz ofrece una visión general en términos de pC o de porcentaje de cómo las señales aplicadas sobre cualquier punto de medición, aparecen en cualquiera de los otros puntos. Por lo tanto, comparando el porcentaje de una cierta actividad de DP detectada; la matriz ofrecerá una indicación aproximada de la ubicación de dicha actividad.

Durante la última década, los ensayos y los tiempos de preparación han sido optimizados contundentemente. Como consecuencia, a menudo, ningún ensayo previo es realizado antes de las pruebas de aceptación presenciadas por el cliente. Este procedimiento habitual hace necesario que los ensayos reúnan la mayor cantidad de información posible durante la prueba de aceptación.

4- Ubicación de las descargas parciales

Tras las indicaciones que señalan la presencia de descargas internas en un transformador de gran potencia, luego deben tomarse mayores medidas para acotar su ubicación. Con el análisis de gases disueltos, el predominio de ciertos gases y su equilibrio, proporcionan una indicación del tipo de descarga y la gravedad, pero sólo brinda información limitada sobre la ubicación potencial. Comparar la matriz de calibración con los niveles actualmente detectados de las descargas internas, proporcionan una idea más específica sobre su ubicación. Existen muchas posibilidades para encontrar y validar la ubicación de las DP. Abrir un transformador consume tiempo y es costoso. El costo y el tiempo requerido para certificar la devolución de un gran transformador a su instalación/ taller, exige rigurosas pruebas previas, con resultados contundentes.

4.1. Variación de modelos de excitación

La tensión inicial y la posición de la fase de una actividad de descarga interna, dependen del modo de excitación. Por lo tanto, variar el modo de excitación

puede proporcionar información valiosa de la ubicación física.

En el modo trifásico de tensión inducida, el transformador no sólo ofrece las tensiones trifásicas a tierra con desfase de 120°, sino también las tensiones fase a fase que puedan tener un desfase múltiplo de 30°. Por lo tanto, comparar la actividad de una fase bajo el ensayo de tensión trifásica inducida, refiere al campo eléctrico interno, que “es visto” por la actividad de las DP, reduciendo así las posibles ubicaciones del defecto.

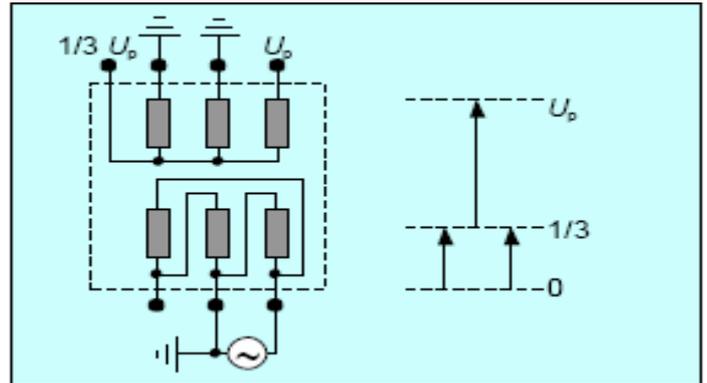


Fig. 4- Excitación monofásica de un transformador (YNd).

Comparando la tensión inicial y el nivel de descarga, bajo tensión monofásica inducida en configuraciones normales, frente a la tensión inducida con neutro a potencial elevado; es posible señalar, por ejemplo, para una fase con actividad de descarga a tierra, la ubicación aproximada de la misma, a lo largo del bobinado de AT. La Fig. 4 muestra el esquema de conexión para tales ensayos con neutro a potencial.

4.2 Comparación de niveles detectados

Tal como se ha mencionado anteriormente, la comparación entre la matriz de calibración con el nivel detectado bajo tensión de ensayo, permite identificar las actividades que se encuentran cercanas a los bushings. Mientras la calibración en los ensayos de aceptación es utilizada generalmente solo para alta tensión, esta también puede extenderse a todas las conexiones accesibles para un ensayo en profundidad (baja tensión), y si se presentara, el bushing del bobinado terciario. Es especialmente útil, incluir las conexiones del núcleo y el marco en estas secuencias de ensayos. Sin embargo, deben ser utilizados los inductores adecuados para proveer una tierra efectiva.

4.3. Análisis del patrón de descargas parciales

Analizar las propiedades del patrón de descargas parciales, otorga información comprensiva sobre el tipo de actividad de las DP. La evaluación estadística provee información adicional, además del mero análisis visual de la forma y apariencia del patrón.

Varias actividades comúnmente halladas en transformadores de potencia, tienen su patrón típico de descargas parciales. Por ejemplo, la actividad de descarga con cavidades gaseosas internas (voids), ofrecen un patrón claro que es identificado fácilmente.

La Fig. 5 da un ejemplo de este tipo de patrón de descarga en cavidades, superpuestas con un patrón de otra actividad de descargas dentro de capas de papel.

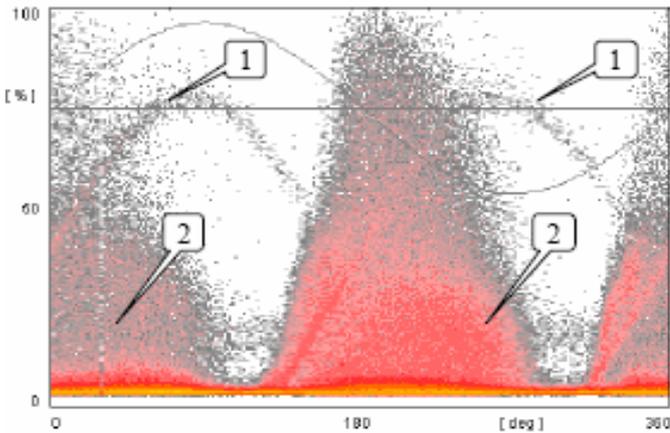


Fig. 5- Descarga vacía superpuesta con DP de capas de papel.

Indirectamente, el análisis del patrón, contribuye a la ubicación, el conocimiento de sus límites, así como las áreas potenciales de la actividad de la misma.

4.4 Mediciones del dominio del tiempo

En la actividad de las DP, bajo atmósfera de nitrógeno, la avalancha de electrones tiene un tiempo de subida (RISE TIME) de aproximadamente 1ns. Por lo tanto, dicha actividad ofrece un ancho de banda de hasta 400MHz en su origen. Generalmente, un bobinado de transformador no está diseñado para transmitir dichas señales de alta frecuencia. Debido a diversas imperfecciones en términos de transmisión de altas frecuencias, el ancho de banda es cada vez más atenuado mientras la señal va viajando por el bobinado. Normalmente, las señales de DP, experimentan reflejos ante los cambios de impedancia; dispersiones debidas a las capas semiconductoras, y atenuaciones en conductores que tengan bajo comportamiento de alta frecuencia.

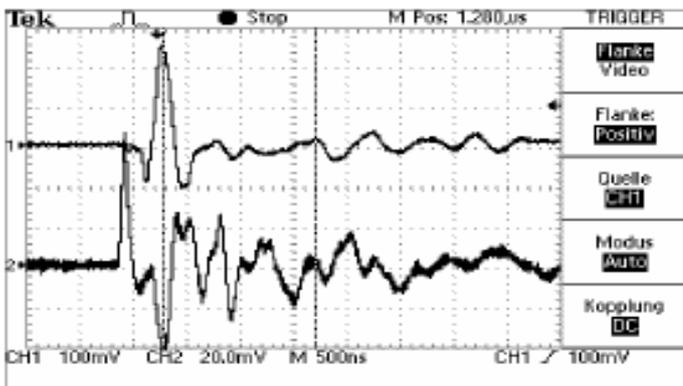


Fig. 6- Comparación de las señales del dominio del tiempo en diferentes taps

Además, comparar el tiempo de viaje entre los distintos terminales utilizando un pequeño osciloscopio, permite también distinguir entre señales emitidas y conducidas. La Fig. 6 muestra en el trazado superior, una señal que viaja por un conductor, mientras el impulso inicial del trazado inferior, es causado por una señal emitida tomando un modo directo.

4.5. Mediciones de dominio de frecuencia

Por supuesto, un tiempo de inicio/subida se traduce en un ancho de banda. Por lo tanto, comparar el ancho de banda de una señal de DP cuando llega a los diferentes terminales, orienta sobre el trayecto que la señal ha viajado. Un ejemplo de dicha medición en el dominio de frecuencias, es dado por la Fig. 7 para un rango de 100kHz a 10MHz.

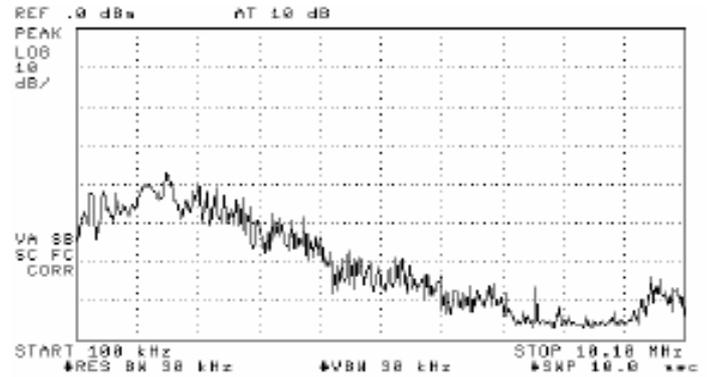


Figura 7- Actividad de descarga en dominio de frecuencia.

En este caso, por ejemplo, la falta de componentes de alta frecuencia, indica que la señal tuvo que viajar una distancia mayor en el transformador antes de ser detectado en este tap del bushing.

Del mismo modo, al tener un espectro de amplitud distribuida uniformemente, indica una ubicación comparativamente cercana al tap del bushing o punto de medición utilizado.

Además, debe tomarse en cuenta la impedancia compleja del mismo bushing. Por lo tanto, el espectro resultante de inyectar una carga de impulso en el bushing, también debe ser tomado durante la sesión de calibración antes de energizar al transformador.

4.6 Mediciones acústicas

Una actividad de DP, causa también una emisión acústica. El uso de sensores piezoeléctricos permite detectar estas señales. Sin embargo, las señales acústicas experimentan una atenuación mucho más fuerte que la señal eléctrica correspondiente. Por lo tanto, la actividad de descarga especialmente de bajo nivel, puede ser detectable solo en la más estrecha proximidad.

Las señales acústicas tienen una velocidad mucho más baja comparativamente cuando viajan dentro de un transformador. Dependiendo de los materiales, esta velocidad oscila entre 1400ms^{-1} para el aceite del transformador hasta más de 5000ms^{-1} para una onda longitudinal en una placa de acero. Además, dependiendo del ángulo bajo el cual una onda golpea el material del tanque, la señal transitará parcialmente la pared del tanque, o será reflejada. Por lo tanto, los indicios de anomalías, pueden ser detectadas en un primer vistazo.

Sin embargo, debido a la comparativamente baja velocidad, los tiempos de viajes se acortan rápidamente a milisegundos, incluso para distancias relativamente cortas. Al hacer ensayos en CA, este tiempo de viaje se traduce en un desfase, lo que permite una estimación simple de la ubicación del defecto. (Fig. 8)

En este caso, la parte superior del patrón muestra la señal detectada eléctricamente, mientras que la parte inferior muestra un patrón de descargas parciales adquirido acústicamente. La señal acústica fue tomada con un sensor piezoeléctrico conectado a un canal auxiliar del detector de descargas parciales de 8 canales mencionado anteriormente (ICM sys8), mientras que el preamplificador ofrece también la fuente de energía para el sensor acústico (Fig. 9) y actúa como convertidor de impedancia.

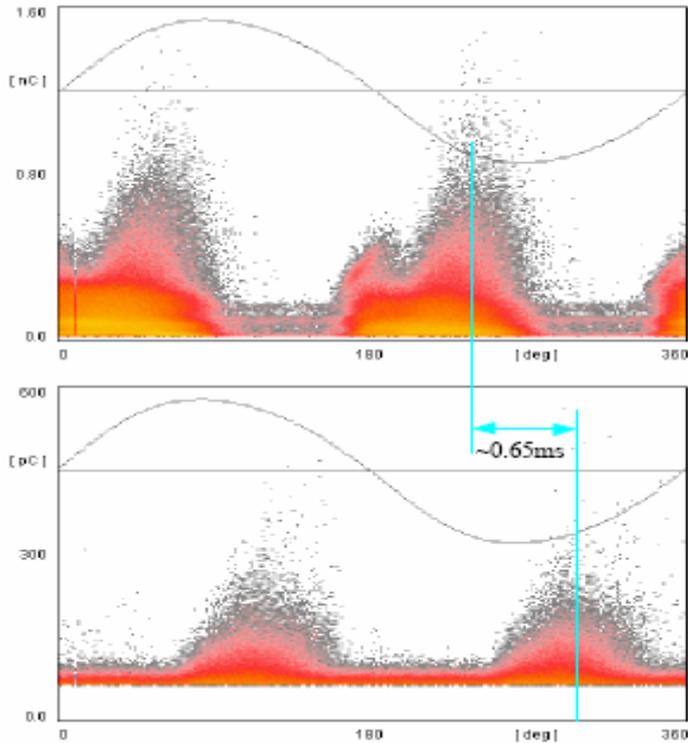


Fig. 8 - cambio de fase entre patrones eléctricos y acústicos

El ensayo fue realizado bajo tensión de excitación inducida de 250 Hz. Por lo tanto, el cambio de fase observado se traduce a aproximadamente 0.65ms, lo cual indica una distancia entre el sensor y el defecto de aproximadamente 100cm.



Fig. 9- Sensor acústico, fixture y preamplificador RPA1D.

5. Mediciones en campo

En principio, la mayoría de las técnicas descritas pueden aplicarse igualmente bajo condiciones de campo. Sin embargo, a menudo existen limitaciones sobre la disponibilidad del suministro de energía para energizar

al transformador. Las pruebas de tensión aplicadas pueden ser realizadas utilizando equipos de pruebas del tipo resonantes, y generadores diesel con un transformador elevador, para realizar los ensayos de tensión inducida. [5]. Los costos y esfuerzos para llevar suministros de energía y ensayos personales, deben ser ponderados contra las ambigüedades relacionadas con el transporte del transformador a un laboratorio equipado adecuadamente.

6. Conclusión

Los transformadores de alta tensión tienen una vida interna compleja, que es ocultada mayormente por su cuba contenedora. Por lo tanto, el análisis y la ubicación de la actividad de las DP internas, es una tarea exigente.

La combinación de los métodos tradicionales, junto con las modernas técnicas de mediciones, ofrecen permiten recolectar los resultados y la información necesaria para respaldar las decisiones requeridas. Sin embargo, un conocimiento profundo de la vida interna de un transformador, así como de las propiedades en alta frecuencia, y el comportamiento acústico de los componentes, son esenciales para la interpretación adecuada de estos resultados.

7. Referencias

- [1] IEC 61181 (1993) "Impregnated insulation materials - Application of dissolved gas analysis (DG) to factory tests on electrical equipment".
- [2] Gross, D., Soeller, M. "Partial Discharge Diagnosis on large Power Transformers," ISEI 2004 Conference, Indianapolis, IN, September 19-22, 2004, 04CH37561C, pp. 186-191.
- [3] Gross, D., Soeller, M., "Partial Discharge Acceptance Testing and Monitoring on Power Transformers," ETG Fachtagung, Diagnostik el. Betriebsmittel, Berlin, Germany, February 26-27, 2002, ISBN 3-8007-2671-8, pp. 213-216.
- [4] Fruth, B., Gross, D. "Phase Resolving Partial Discharge Pattern Acquisition and Spectrum Analysis", Proc. of the ICPDAM, July 1994, Brisbane NSW, Australia, 94CH3311-8, pp. 578-581.
- [5] Bränlich, R., Hässig, M., Fuhr, J., and Aschwanden, T. "Assessment of Insulation Condition of Large Power Transformers by On-Site Electrical Diagnostic Methods", ISEI International Symposium on Electrical Insulation, Anaheim, CA, U.S.A., April 2-5, 2000.

FUENTE: **INDUCOR INGENIERIA S.A.**

ELECTRICAL TESTING GROUP
 H.V. PARTIAL DISCHARGE
 Power Diagnostix Systems GmbH
 Latin American Sales & Applications
www.inducor.com.ar

Web Site: www.inducor.com.ar