

DetECCIÓN Y LOCALIZACIÓN DE DESCARGAS PARCIALES CON LA CÁMARA ACÚSTICA FLUKE ii910

Introducción

La norma IEC-60270 define la descarga parcial (DP) como una descarga eléctrica localizada, que puentea parcialmente el aislamiento entre los conductores. En ingeniería eléctrica, la DP se define como la ruptura dieléctrica localizada de una pequeña sección de un sistema de aislamiento eléctrico cuando hay tensión de alto voltaje. En general, las DP ocurren debido a la tensión eléctrica local en la superficie del aislamiento o en el cuerpo del aislamiento, como una burbuja de gas en un aislante, un vacío lleno de gas en un material aislante o alrededor de un electrodo en un gas.

Las descargas parciales pueden caracterizar la mayoría de las deformaciones dentro de los sistemas de aislamiento de los transformadores. Las descargas parciales pueden provocar daños severos en un dispositivo de alto voltaje. El daño puede ocurrir en poco tiempo o desarrollarse durante años. Por lo tanto, la evaluación de los cambios en la intensidad de la DP es esencial y puede realizarse mediante sistemas de monitoreo.

La descarga eléctrica (Q o q) tiene la unidad de Culombio (C) en el SI (Sistema Internacional). Se define como la carga transportada por una corriente constante de un amperio en un segundo.

Actualización sobre el funcionamiento de la cámara acústica ii910

La cámara acústica ii910 utiliza 64 micrófonos dispuestos en un patrón matricial específico. Tiene una cámara visible en el medio de la matriz que proporciona una imagen de la escena hacia donde enfoca el instrumento. El dispositivo utiliza algoritmos complejos para generar un mapa de sonido o una imagen de las fuentes de sonido y luego superpone el mapa de sonido generado en la imagen visual de la escena. Dependiendo de la posición de la fuente de sonido con respecto al campo de visión de la cámara acústica ii910, cada micrófono recibe el sonido en instantes ligeramente diferentes.

Las diferencias de tiempo entre micrófonos permiten localizar la posición de la fuente de sonido: si el sonido viene del lado derecho del dispositivo, los micrófonos del lado derecho de la matriz recibirán el sonido una fracción de tiempo antes que los micrófonos del lado izquierdo. La cámara ii910 mostraría la fuente de ese sonido en el lado derecho de la pantalla.



Figura 1: Esta figura ilustra de manera muy simplificada el principio de operación de la cámara acústica Fluke ii910: la matriz de 64 micrófonos de alta sensibilidad y gran rango de frecuencias (2kHz a 100 kHz) permite localizar las fuentes de emisión acústica gracias a algoritmos complejos que muestran la información en forma gráfica superponiendo la información acústica a la imagen capturada por una cámara visible, en tiempo real.

Cómo detecta la cámara acústica ii910 las descargas parciales?

Una fracción de la energía eléctrica (1-5%) se convierten en energía mecánica durante el fenómeno de descarga parcial, y la conversión genera ondas de emisión acústica (EA). Las ondas EA se producen como resultado de la liberación de energía de enlace intermolecular cuando los materiales se deforman o se degradan. El procesamiento de ondas de emisión acústica se utiliza comúnmente para evaluar las condiciones de las estructuras civiles, el diagnóstico de las máquinas de corte y el proceso de corte, y la detección de defectos de materiales. En ingeniería eléctrica, las ondas de emisión acústica sirven como señal para detectar la ubicación de las fuentes de DP en grandes transformadores de potencia.

El método EA en la detección de las descargas parciales es relativamente nuevo. Sin embargo, se hizo referencia al método de emisiones acústicas como el método de detección de descargas parciales más aplicable y menos costoso en comparación con los métodos tradicionales (Sikorski y Ziomek, 2012, método convencional eléctrico (IEC 60270), métodos electromagnéticos (HF/VHF/UHF), métodos de análisis de gases disueltos (DGA), métodos ópticos basados en detección de radiación UV). La cámara acústica ii910 detecta las ondas de emisión acústica generadas por las descargas eléctricas en general.

Factores que afectan la detección de Descargas Parciales (DP)

El campo de sonido irradiado en las partes de aislamiento, en condiciones ideales, se propaga como una onda de presión esférica (longitudinal). Las ondas acústicas generadas se diseminan a través de las partes internas del aparato de alto voltaje y alcanzan la superficie externa. Cuando las ondas acústicas alcanzan las partes sólidas del aislamiento, se forman las trayectorias de propagación transportadas por la estructura, descritas por un vector de velocidades. Hay reflexiones y refracciones en los límites de las trayectorias de propagación transmitidas por la estructura, lo que resulta en absorción, atenuación y dispersión.

La compleja estructura de propagación convierte el procedimiento de detección de DP en un proceso específico para cada caso: el dispositivo de detección de DP debe colocarse de manera diferente para cada caso para obtener una alta relación señal / ruido. Además, la posición de detección óptima no siempre corresponde al camino óptico más corto entre la fuente de DP y el dispositivo. Para superar los problemas de la ruta de transmisión y los efectos acústicos (absorción, atenuación y dispersión), la movilidad y las

propiedades del sensor acústico (sensibilidad y rango de frecuencia) son aspectos críticos para la detección eficiente de DP.

Ruta de transmisión

Las siguientes características en la norma IEC 62748 resumen el impacto de la ruta de transmisión acústica entre la fuente de descargas parciales y el sensor acústico:

1. Modos de propagación variables de la onda acústica a lo largo del camino de transmisión desde la fuente hasta el sensor acústico;
2. Los cambios en la velocidad acústica basados en diferentes materiales y condiciones (por ejemplo, para aceite aislante: variación de velocidad comparativamente alta con la temperatura, solo variación menor de velocidad con la humedad);
3. Dispersión acústica y atenuación dispersiva: descomposición dependiente de la frecuencia de las ondas acústicas a su paso por un medio. Dependiendo del material de aislamiento, algunas de las frecuencias descompuestas son atenuadas. Por tanto, las características de frecuencia de las ondas acústicas generadas por la DP varían para cada caso.
4. No coincidencia de las impedancias acústicas entre el sensor y la carcasa del aparato de alto voltaje;
5. Distancia entre el sensor acústico y la fuente de DP.

El rango de frecuencia de las emisiones acústicas producidas por las descargas parciales

Como se mencionó en la sección anterior, las características de frecuencia de las descargas parciales difieren principalmente en función de las propiedades de la ruta de transmisión. La variabilidad de las frecuencias pico ha sido investigada en la literatura sobre descargas parciales. La presente sección resume las frecuencias pico/dominantes observadas al analizar las ondas de emisión acústica de las descargas parciales.

Harrold (1975) – Se investigaron las ondas de emisión acústica de diferentes tipos de descargas parciales en aceite. Se utilizó un transductor de banda ancha para las mediciones.

- No se detectó una frecuencia única con alta energía.
- El rango de frecuencia exitoso de los transductores resonantes está en rango: 20 kHz-100 kHz.

Harrold (1980) –Las ondas de emisión acústica generadas por chispas y arcos en el aceite se registraron con transductores de banda ancha y estrecha.

- Los arcos de alta energía irradian niveles máximos en el rango de 120 Hz-10 kHz,
- Las micro chispas de baja energía crean una emisión acústica máxima a altas frecuencias: 10 kHz-400 kHz.

Howells y Norton (1978) - Las ondas de emisión acústica generadas por transformadores de potencia se observaron utilizando un transductor resonante con un pico de resonancia de alrededor de 140 kHz.

- La mayor parte de la energía de la onda de emisión acústica se transmite en 20 kHz-80 kHz.
- El resto se transmite dentro del rango de 140-170 kHz, cercano al de la frecuencia de resonancia del transductor.

Zhu y col. (1988) –Se investigaron varios tipos de descargas parciales en los aislamientos de transformadores de potencia. Se utilizaron sensores piezoeléctricos de banda ancha y banda estrecha.

- Las frecuencias pico cubren un amplio rango (70-150 kHz),
- Las frecuencias de ruido de Barkhausen son inferiores a 20 kHz.
- Se recomienda el ancho de banda en frecuencia de 70-180 kHz para la detección de descargas parciales.

Sakoda y col. (1999) - Se midió la respuesta de frecuencia de las ondas de emisión acústica, de un solo pulso de descarga parcial en aceite, con un transductor ultrasónico de banda ancha.

- Casi toda la energía del pulso de emisión acústica de la descarga parcial en el aceite se transmitió por debajo de 100 kHz. La frecuencia dominante fue de 25 kHz.

Bozcar (2001) –Se analizaron las ondas de emisión acústica emitidas por descargas superficiales en aceite, descarga en burbujas de gas en aceite y descargas en partículas potenciales. Se utilizó un transductor piezoeléctrico de banda ancha (10 kHz – 1 MHz).

- Las descargas progresivas (un término utilizado para las descargas superficiales) crean señales de emisión acústica de baja frecuencia (<100 kHz), y la porción más significativa se transporta entre 70 y 90 kHz.

Sikorski y Ziomek (2012) –Se examinaron diez tipos diferentes de descargas parciales que ocurren en el aislamiento de papel impregnado en aceite.

- Cada una de las formas de descargas parciales investigadas genera señales de emisión acústica repetibles y únicas.
- Los resultados del análisis en el dominio de frecuencia son altamente dependientes del tipo de sensor aplicado
- Los sensores de frecuencia baja (30 kHz) son más sensibles en la detección de descargas parciales de alta energía, como es el caso de descargas superficiales, que los sensores de banda ancha,
- Las chispas progresivas de alta energía generan una señal de emisión acústica en la banda de frecuencia de 20 kHz a 40 kHz,
- Las descargas parciales de baja energía, como descargas en burbujas de gas o vacíos internos de gas, emiten pulsos cortos en altas frecuencias (100–300 kHz).
- Las conclusiones de las pruebas en modelos se confirmaron mediante mediciones realizadas en transformadores de potencia.

Sikorski (2019) - Se investigaron las frecuencias máximas de cuatro tipos de descargas parciales.

- Se investigaron cuatro formas de descargas parciales: dos tipos de descargas superficiales, descarga parcial y descarga entre espiras.
- La frecuencia de las señales de emisión acústica generadas por uno de los tipos de descarga superficial (B) osciló entre 20 kHz y 110 kHz, en donde el 95% de la energía se transfirió en una banda estrecha de 22 kHz a 42 kHz.
- Las descargas superficiales del otro tipo (A) produjeron señales de frecuencias más altas donde el 95% de la energía de la onda acústica se transmitió en la banda entre 48 kHz y 100 kHz.
- Las descargas entre espiras generaron señales de emisión acústica con frecuencias dominantes ligeramente más altas que las descargas de superficie tipo B. El 95% de la energía de la señal acústica se transmitió entre 20 y 68 kHz.
- La descarga parcial en aceite tuvo una característica de frecuencia de banda ancha. La mayor parte de la energía acústica (90,3%) se emitió en la banda de frecuencia de 80-117 kHz, donde la frecuencia máxima era igual a 98.1 kHz.
- Las frecuencias dominantes observadas en el espectro sumado normalizado de los cuatro tipos de descarga son 40 kHz, 68 kHz y 90 kHz.

Qué propiedades de las descargas parciales mide la cámara acústica Fluke ii910?

Clasificación del tipo de descarga eléctrica en la cámara acústica ii910

La ii910 clasifica los tipos de descargas parciales utilizando algoritmos de inteligencia artificial. Se clasifican cuatro tipos de descargas: descarga externa, descarga interna, descarga tipo tracking (superficiales progresivas) y otras.

1. Descarga externa: La clasificación de descarga externa se basa en los dos algoritmos de subclasificación en la ii910: descarga de arco eléctrico y corona. Los datos acústicos de ambos tipos de descargas externas se recopilaron a partir de mediciones en transformadores de potencia.

A. Arco eléctrico: Un arco eléctrico, o descarga de arco, ocurre cuando se perpetúa una descarga eléctrica en un gas que resulta en una falla eléctrica (Fig. 2). El plasma producido puede generar luz visible. A menudo se clasifica como una *descarga entre dos electrodos*: cuando se forma una ruta ionizada de un electrodo a otro, se libera una enorme cantidad de energía.

B. Descarga de corona: Una descarga de corona es un proceso mediante el cual una corriente fluye desde un electrodo con un potencial alto a un fluido neutro (por ejemplo, aire) ionizando ese fluido para crear una región de plasma alrededor del electrodo (Fig.3). El efecto corona a menudo se denomina *descarga desde un solo electrodo* y tiende a ocurrir en elementos puntiagudos y bordes afilados.

2. Descarga interna: Las descargas parciales pueden ocurrir en partes aislantes líquidas, gaseosas o sólidas. Por lo general, comienza en los vacíos de gas de los aceites del transformador, ya que la constante dieléctrica del vacío es más pequeña que el dieléctrico circundante. Para la clasificación de descargas internas, los datos acústicos de descargas en cavidades (burbujas en caso de aceite como material de aislamiento) se recopilaron de mediciones de laboratorio y de campo.

3. Descarga tipo Tracking (superficial): Hay varios términos utilizados para este tipo de descargas, como descarga de superficie, descargas de rastreo o descarga de superficie progresiva. La descarga superficial (Fig. 4) se considera el tipo más peligroso de descarga parcial, que puede provocar una falla repentina del transformador de potencia (Sokolov y col., 1999).

La descarga progresiva (superficial) ocurre en el sistema de barrera de aceite/cartón prensado, un área problemática en el sistema de aislamiento del transformador de potencia. Se llevaron a cabo varias mediciones de campo para desarrollar la clasificación de seguimiento de descargas (superficiales) con la Fluke ii910.

4. Otras descargas: Hay varios otros tipos de descargas eléctricas, como la descarga del cepillo, la descarga de un solo electrodo y la descarga entre espiras. Actualmente, la cámara acústica ii910 clasifica estos tipos de descargas eléctricas como otros.

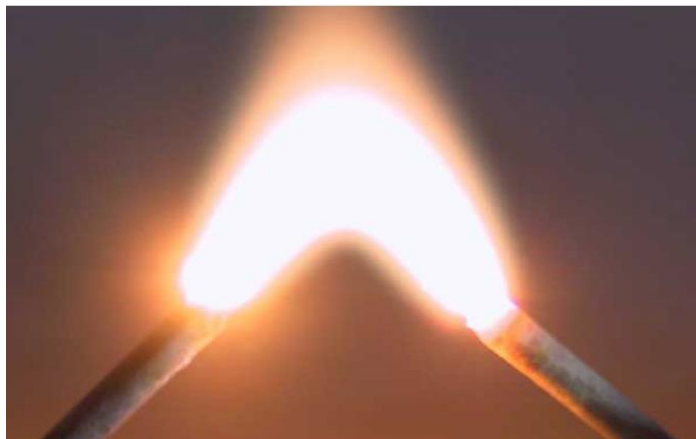


Figura 2: Arco eléctrico generado usando dos electrodos.



Figura 3: Descarga corona en aislador de línea de 500 kV.



Figura 4: Daños por Descarga tipo Tracking (superficial).

Patrón de datos de resolución de fase

Los atributos de las Descargas Parciales se cuantifican comúnmente mediante un método llamado patrón de datos de resolución de fase (PRDP, Phase Resolved Data Pattern). El PRDP representa la magnitud de la descarga parcial en función del ángulo de fase con relación a la señal sinusoidal de la tensión de alimentación del sistema eléctrico.

El cálculo del patrón de datos PRDP comienza con la segmentación de los datos sobre la duración de un ciclo del voltaje de suministro. Los valores de amplitud de cada segmento se visualizan en función de los grados de fase con relación a la frecuencia de la tensión de alimentación. El grado de fase se calcula mediante $360 \times (t_i / T)$ donde t_i es la información de tiempo del pulso de descarga parcial y T es la duración de un ciclo de la frecuencia de la tensión de alimentación. Por último, se aplica un umbral antes de la representación del patrón PRDP.

La cámara acústica Fluke I ii910 aplica un algoritmo de predicción de fase inicial, que decide la muestra inicial para el cálculo del PRDP. El algoritmo de predicción de la fase inicial es el resultado de un desarrollo basado en datos y tiene éxito al proporcionar imágenes que son familiares para los usuarios que tienen experiencia en la detección de descargas parciales con los métodos convencionales (medición eléctrica, RF).

La representación PRDP de una de las mediciones realizadas en el campo se presenta en la Fig. 5.

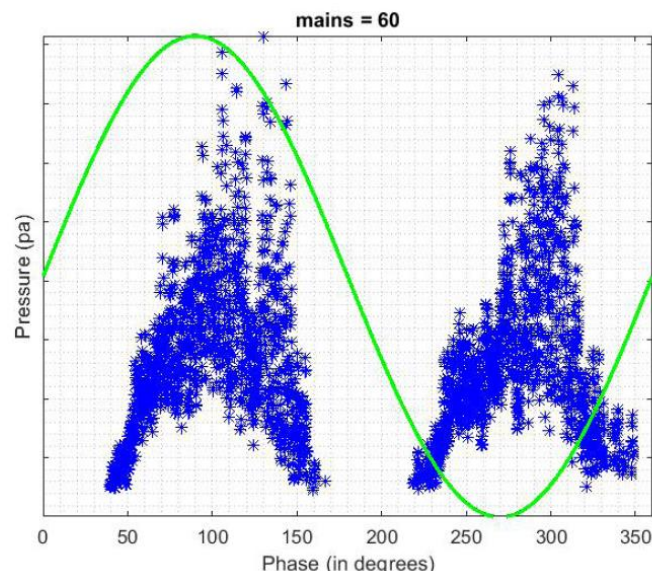


Figura 5: Análisis PRDP de descargas parciales detectadas en un transformador de potencia. La tensión de suministro se representa con la línea sinusoidal verde.

Pulso por minuto (PpM)

Además del análisis PRDP, la ii910 proporciona una predicción en tiempo real del recuento de pulsos DP (Descargas Parciales), Pulsos por Minuto. El algoritmo se desarrolla en base a los datos de descargas parciales recopilados tanto en los laboratorios como en mediciones de campo. El algoritmo de predicción del recuento de pulsos es un algoritmo novedoso desarrollado para la cámara acústica ii910. El algoritmo analiza la resolución temporal y los patrones de ondas de Descargas Parciales suavizadas para estimar el número de pulsos de las descargas parciales por minuto en la señal de emisión acústica medida.

Tanto el análisis PRDP como la estimación del recuento de pulsos se calculan utilizando los datos formados por recombinación de señales ultrasónicas recibidas en la matriz de micrófonos (beamformed data), por lo que resulta ventajoso en lo que respecta al ruido ambiental.

Conclusiones

La detección de descargas eléctricas mediante sensores acústicos es una tarea desafiante debido principalmente al impacto de la ruta de transmisión de la DP y al requerimiento de sensores con rangos de alta frecuencia. Como dispositivo de mano, la cámara acústica Fluke ii910 supera los desafíos que conlleva los efectos de la ruta de transmisión.

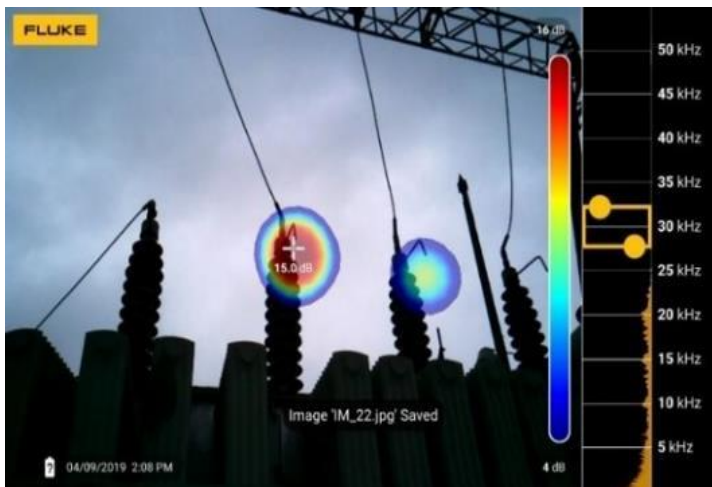
Las propiedades acústicas de los micrófonos del instrumento ii910, en particular el rango de trabajo de 2kHz a 20 kHz, se han escogido cuidadosamente en base a la información encontrada en la literatura resumida en el presente documento. El instrumento ii910 está configurado para maximizar la relación señal-ruido de las señales de emisión acústica de las descargas parciales.

Se han recopilado un amplio conjunto de datos en entornos de laboratorio y de campo para validar la clasificación y los algoritmos de PpM. La posición de la Descarga Parcial, el tipo, el número de pulsos y el análisis de PRDP proporcionan un procedimiento de informe completo y sencillo.

Las descargas parciales son un problema muy grave que es necesario supervisar de manera rápida y sencilla. Los problemas deben detectarse con rapidez, tanto si se inspeccionan aisladores, transformadores,

conmutadores o cables de alta tensión. Las descargas parciales que pasan inadvertidas pueden llegar a generar arcos eléctricos que provoquen apagones, incendios, explosiones e incluso la muerte. Además del peligro que causa la descarga parcial a las vidas humanas y al medio ambiente, existe un importante riesgo monetario de tiempo de inactividad. Cada hora de inactividad por fallos en los equipos puede significar pérdidas económicas considerables.

La cámara acústica de precisión ii910 de Fluke es el instrumento perfecto para inspectores de línea y electricistas de media y alta tensión, ingenieros de pruebas de instalaciones eléctricas y personal de mantenimiento de redes que inspeccionen y mantengan constantemente la distribución eléctrica y equipos industriales de media y alta tensión. La cámara acústica ii910 permite detectar y localizar descargas parciales de forma rápida y segura para poder mantener los equipos de media y alta tensión y evitar accidentes catastróficos. Gracias a la tecnología SoundSight™, la cámara ii910 convierte los sonidos que recoge en una representación visual para que pueda localizar rápidamente las zonas con problemas. Adicionalmente, Fluke provee un software de análisis que además de mostrar los pulsos por minuto (indicación de los pulsos generados por la descarga parcial analizada) con resolución de fase, permite discriminar el tipo de descarga mostrando claramente el tipo de problema al que nos enfrentamos en forma muy sencilla y rápida.



Esta nota técnica se ha elaborado principalmente en base a la traducción de un artículo técnico de Fluke (Whitepaper: Partial discharge).

Anexo. Tabla comparativa de modelos de cámaras acústicas Fluke y de la competencia.

	ii900	ii910	Equipos de competencia
Aplicación	<ul style="list-style-type: none"> • Detectar, Localizar fugas de aire comprimido, gas o vacío • Detección LIMITADA de Desc. Parciales/ Efecto Corona 	<ul style="list-style-type: none"> • Detectar, Localizar fugas de aire comprimido, gas o vacío • Detección de Descargas Parciales/ Efecto Corona 	<ul style="list-style-type: none"> • Detectar, Localizar fugas de aire comprimido, gas o vacío • Detección LIMITADA ⁽¹⁾ de Desc. Parc./ Efecto Corona
Rango de Frecuencia	2 a 52 KHZ	2 a 100 KHZ	Solo hasta 35 KHZ
Distancia de Detección	Hasta 70 Metros	Hasta 120 Metros	Información no ubicada
Sensibilidad (2)	Normal	Alta Sensibilidad	Normal a baja
Severidad Relativa, software avanzado para análisis	LeakQ™	LeakQ™ PDQ™	No que se sepa
Protección Ambiental	IP40	IP40	Información no ubicada
Duración de la Batería	> 6 Horas	> 6 Horas	Información no ubicada
Temperatura de Operación	-10 °C / 45 °C	-10 °C / 40 °C	Información no ubicada
Tamaño de pantalla	7", 1280 x 800, color, LCD touchscreen con backlight	7", 1280 x 800 , color, LCD touchscreen con backlight	5", 800 x 480, color, touchscreen
Detección temprana de efecto corona ⁽³⁾	NO	SI	NO

⁽¹⁾ para la detección de descargas parciales, es necesario realizar la detección en altas frecuencias, típicamente mayores a 50 kHz. La norma IEC 60270 recomienda trabajar en un rango de frecuencia de medición de 50 kHz a 1 MHz para la detección y análisis de descargas parciales.

⁽²⁾ para lograr una alta sensibilidad acústica, es necesario trabajar en frecuencias elevadas para tener menos interferencia de ruidos industriales de fondo. Por este motivo la ii910 es mucho mas sensible que la ii900 y equipos de la competencia.

⁽³⁾ para la detección temprana del efecto corona se necesita trabajar con una medición en frecuencias superiores a 60 kHz



Distribuidor Oficial de Fluke en Bolivia
W: www.helios.com.bo
C: Info@helios.com.bo
T: 3 3433818