

Centro de Formación Schneider

## Medición del nivel de descargas parciales



**Merlin Gerin**

**Eunea Merlin Gerin**

**Modicon**

**Telemecanique**

**Mesa**

**Hímel**

**Square D**

Publicación Técnica Schneider: PT-069

Edición: Mayo 2000

**Schneider**  
 **Electric**

La **Biblioteca Técnica** constituye una colección de títulos que recogen las novedades en automatismos industriales y electrotécnica. Tienen origen en el Centro de Formación para cubrir un amplio abanico de necesidades pedagógicas y están destinados a Ingenieros y Técnicos que precisen una información específica, que complemente la de los catálogos, guías de producto o noticias técnicas.

Estos documentos ayudan a conocer mejor los fenómenos que se presentan en las instalaciones, los sistemas y equipos eléctricos. Cada Publicación Técnica recopila conocimientos sobre un tema concreto del campo de las redes eléctricas, protecciones, control y mando y de los automatismos industriales.

Puede accederse a estas publicaciones en Internet: <http://www.schneiderelectric.es>.

Igualmente pueden solicitarse ejemplares en cualquier delegación comercial de **Schneider Electric España S.A.**, o bien dirigirse a:

Centro de Formación Schneider  
C/ Miquel i Badia, 8 bajos  
08024 Barcelona

Telf. (93) 285 35 80  
Fax: (93) 219 64 40  
e-mail: [formacion@schneiderelectric.es](mailto:formacion@schneiderelectric.es)

La colección de **Publicaciones Técnicas**, junto con los Cuadernos Técnicos (ver CT-0), forma parte de la «Biblioteca Técnica» del **Grupo Schneider**.

#### **Advertencia**

Los autores declinan toda responsabilidad derivada de la utilización de las informaciones y esquemas reproducidos en la presente obra y no serán responsables de eventuales errores u omisiones, ni de las consecuencias de la aplicación de las informaciones o esquemas contenidos en la presente edición.

La reproducción total o parcial de esta Publicación Técnica está autorizada haciendo la mención obligatoria:  
«Reproducción de la Publicación Técnica nº 069: *Medición del nivel de descargas parciales* de Schneider Electric».

# PT-069

## Medición del nivel de descargas parciales

---



### **Robert Capella**

Ingeniero Técnico Eléctrico con actividad simultánea en los ámbitos industrial y docente. Profesor de máquinas eléctricas y de teoría de circuitos para Ingenieros Técnicos. Profesor de laboratorio para Ingenieros Industriales.

En el ámbito industrial, se ha ocupado en etapas sucesivas de: hornos de arco, motores y accionamientos, transformadores y estaciones de transformación, aparatos de MT y AT y equipos blindados en SF-6, turboalternadores industriales, transformadores de medida y relés de protección. Con especial dedicación al proyecto y construcción de cabinas prefabricadas de MT hasta 36 kV.

En la actualidad, colaborador en el laboratorio de Ingeniería Eléctrica de la Escuela Superior de Ingeniería Eléctrica de Barcelona y en el Centro de Formación de Schneider Electric.

## Terminología

---

### **tg $\delta$ :**

Factor de pérdidas dieléctricas.

### **Descargas parciales –DP–:**

Parte de la energía que se disipa en el dieléctrico. La norma UNE-21313, de acuerdo con la CEI-270, establece las reglas generales en lo que se refiere a la medida de las descargas parciales.

### **Carga aparente «q»:**

La carga aparente «q» de una descarga parcial es la carga que, si se inyectara instantáneamente entre los bornes del objeto a ensayar, cambiaría momentáneamente la tensión entre los mencionados bornes, de la misma medida que cuando se produce una descarga parcial. El valor absoluto «q» de la carga aparente se llama habitualmente amplitud de la descarga. La carga aparente se expresa pues en coulomb. Normalmente es del orden de picocoulombs.

# Índice

1	Medición del nivel de descargas parciales	1.1 Introducción	p.	6
2	Métodos para la valoración del nivel de descargas parciales	2.1 Método eléctrico	p.	7
		2.2 Consideraciones al método eléctrico	p.	11
		2.3 Método no eléctrico	p.	11

# 1 Medición del nivel de descargas parciales

## 1.1 Introducción

Desde hace tiempo, la evaluación de la calidad o estado de un aislamiento de alta tensión se ha basado en la medición de su factor de pérdidas dieléctricas ( $\tan \delta$ ). Pero a causa de la aparición de los aislantes de material sintético con un factor de pérdidas dieléctricas muy bajo, la medición del nivel de descargas parciales es un buen complemento, incluso en determinados casos es una buena alternativa a la medición del factor de pérdidas dieléctricas ( $\tan \delta$ ).

La medición del factor de pérdidas dieléctricas continúa siendo útil en lo que se refiere al control de calidad en la fabricación de los materiales que se utilizan como materia prima para el aislamiento de los elementos eléctricos (aparatos, conductores, aisladores, componentes, etc.).

Con la medición de las pérdidas dieléctricas se obtienen valores globales de la muestra que se ensaya. Por lo tanto es una medición de integración.

Para la evaluación de la calidad o el estado de aislamiento de elementos ya fabricados (producto final) y/o en servicio, la medición de las descargas parciales resulta más ventajosa, porque hay más posibilidades de localizar defectos o anomalías en puntos o zonas concretas (defectos discretos). Por lo tanto, permite poner en evidencia puntos débiles que hayan aparecido después de la fabricación y/o defectos de montaje.

Al igual que la medición del factor de pérdidas dieléctricas, la medida del nivel de descargas parciales tiene como objetivo la estimación de la vida útil probable de los elementos y/o equipos de Alta Tensión en lo que se refiere a su aislamiento.

A pesar de que las técnicas actuales de medición de las descargas parciales no proporcionan parámetros cuantitativos de la vida útil esperada, aportan datos cualitativos muy útiles sobre el estado de los aislamientos, que permiten la detección precoz de eventuales fallos o puntos débiles. Ahora bien, para la evaluación de la calidad o del estado de un aislamiento, tanto o más importante que el valor medido es su variación en el tiempo, es decir, su evolución temporal.

La comparación del valor obtenido con las anteriores mediciones en las mismas condiciones de ensayo, indican la tendencia del aislamiento (estabilidad, empeoramiento, degradación).

Para un adecuado control y/o vigilancia del estado de un aislamiento, es pues conveniente repetir la medición del nivel de descargas parciales, en intervalos de tiempo, que en cada caso pueden determinarse en función de los resultados de la comparación y/o análisis de los valores obtenidos.

## 2 Métodos para la valoración del nivel de descargas parciales

La norma UNE-21313, de acuerdo con la CEI-270, establece las reglas generales en lo que se refiere a la medida de las descargas parciales (a partir de ahora DP).

Según esta norma, hay dos sistemas generales para la detección y medida de las DP:

- el método eléctrico, que consiste en evaluar la llamada «carga aparente» o amplitud de la descarga, expresada en coulomb (normalmente en picocoulomb),

- el método no eléctrico que consiste en la captación y evaluación de las ondas de presión (básicamente en el dominio de los ultrasonidos) producidos por las DP.

### 2.1 Método eléctrico

Cuando en una cavidad del dieléctrico se produce una DP, una cierta parte de la energía que había en la cavidad se disipa en forma de carga eléctrica «q». A esos efectos la cavidad puede considerarse un condensador.

Como no es posible medir el valor de esta carga «q» que se ha puesto en juego con la DP, ha sido necesario definir un valor que pueda medirse y que sea una imagen lo suficientemente buena de la energía disipada por la DP en el seno del dieléctrico.

Este valor se llama carga aparente «q» y se considera dimensionalmente como una cantidad de electricidad. La norma lo define de la forma siguiente:

La carga aparente «q» de una descarga parcial es la carga que, si se inyectara instantáneamente entre los bornes del objeto a ensayar, cambiaría momentáneamente la tensión entre los mencionados bornes, en la misma medida que cuando se produce una descarga parcial. El valor absoluto «q» de la carga aparente se llama habitualmente amplitud de la descarga. La carga aparente se expresa pues en coulomb. Normalmente es del orden de picocoulombs.

La carga aparente así definida, no es igual al valor de la carga transferida efectivamente a través de la cavidad en el interior del dieléctrico donde se ha producido la DP pero se utiliza por ser un valor observable en los bornes del objeto ensayado y que es función del valor de la carga efectiva de la DP. Se

trata por consiguiente de un valor que es posible medir.

Los equipos de medida de descargas parciales, (figura 1), se componen básicamente de:

- fuente o generador de la tensión alterna a aplicar al objeto que se ensaya. Habitualmente es un transformador de salida en Alta Tensión.

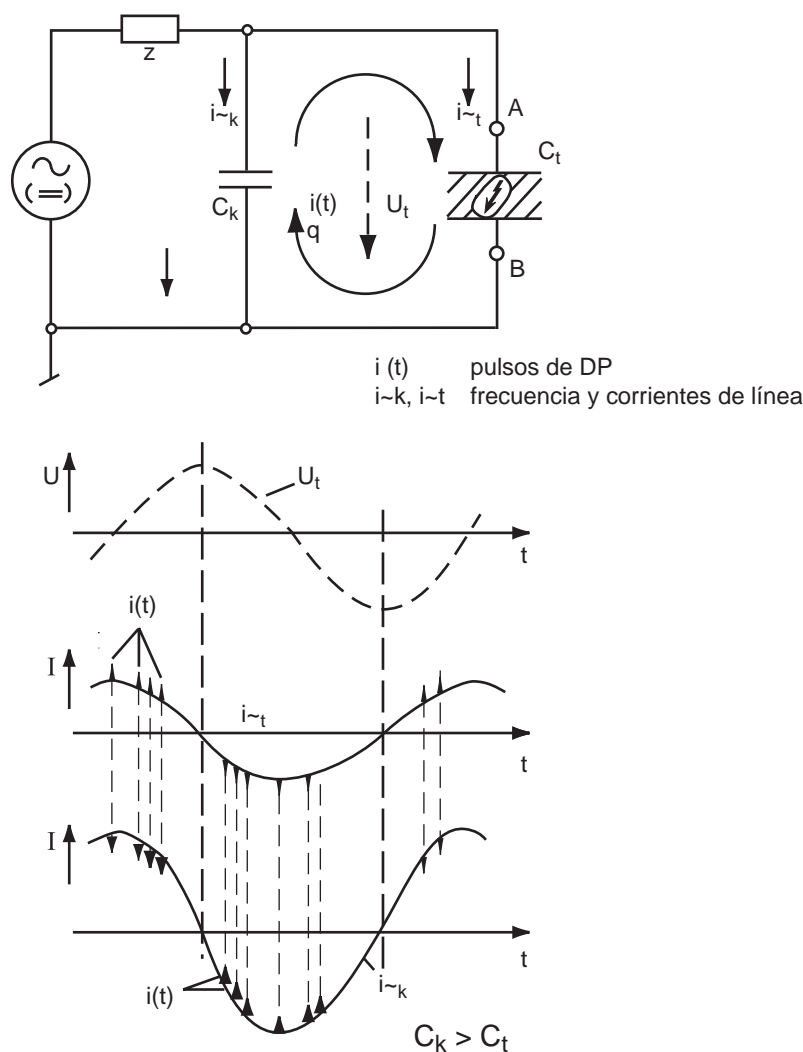
En lo que se refiere al ensayo, el objeto que se prueba se comporta como un condensador « $C_t$ » con una capacidad que dependerá de entre qué puntos se le aplica la tensión.

- condensador « $C_k$ » que se conecta en paralelo con el objeto que se ensaya. Se trata de un condensador de Alta Tensión, exento de descargas parciales. Su capacidad ha de ser mayor que la del objeto a ensayar. Se llama condensador de unión o de acoplamiento,

- impedancia de medida « $Z_m$ » conectada en serie con el condensador de unión « $C_k$ » o bien en serie con el objeto a ensayar (condensador « $C_t$ »),

- instrumento de medida; o equipo de instrumentos de medida «M», conectados a los bornes de la impedancia de medida que se comporta por lo tanto como un shunt de medida.

Lo que mide realmente el equipo de instrumentos «M» son las corrientes ocasionadas por las DP.



**Figura 1:** Circuito de prueba para DP y gráfica de corrientes de desplazamiento y de DP.

Se trata de impulsos de corriente («pulsos») que se superponen a la onda sinusoidal de la corriente capacitiva que circula por el objeto a analizar (condensador « $C_t$ ») cuando se le aplica la tensión alterna de prueba. (Figura 2).

Estos impulsos de corriente debidos a las DP tienen valores de cresta proporcionales a los valores de « $q$ » (carga aparente) y por lo tanto pueden calibrarse en picocoulombs.

Pueden visualizarse en la pantalla de un osciloscopio y de esta manera medir su amplitud, determinar su secuencia temporal y su correlación con el valor de la tensión alterna de prueba que se ha aplicado.

Normalmente, este osciloscopio, que forma parte del equipo de instrumentos de medida «M», visualiza los impulsos sobre una base de tiempo elíptica (sincronizada con la tensión alterna de ensayo).

Este equipo de instrumentos «M» puede medir también:

- valor de la mayor de las descargas que se producen en un cierto intervalo de tiempo, del orden de algunos periodos, en escala calibrada en pico coulombs,
- medición de la frecuencia de repetición de las descargas (número de descargas por unidad de tiempo), en función de la carga aparente « $q$ »,



- valor medio «I» de la corriente de las descargas,
- valor medio cuadrático «D» de las descargas,
- adicionalmente indicación digital o analógica del valor de la carga aparente «q» que ha visualizado el osciloscopio.

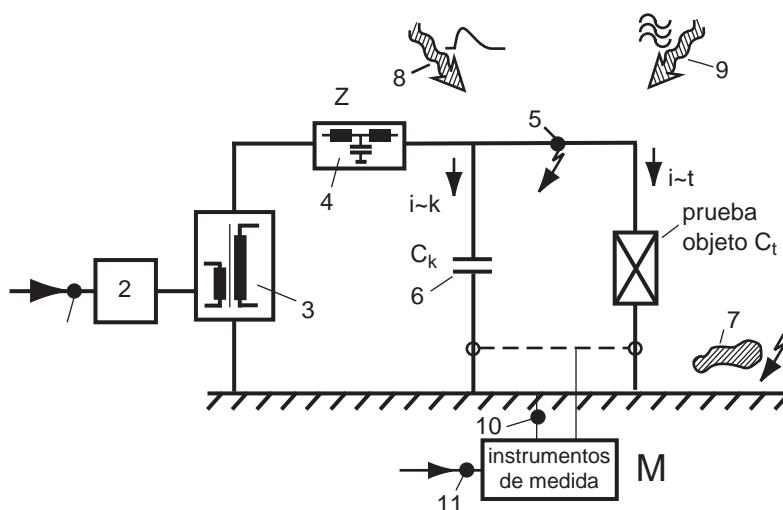
Las perturbaciones o interferencias electromagnéticas son un reto importante en lo que se refiere a la medición de las DP, ya que pueden falsear en gran medida los valores medidos. En las **figuras 2 y 3**, anexas se representan las fuentes típicas de interferencias que afectan a los equipos de medida de DP.

La norma UNE-21313 clasifica las interferencias en:

- a. Perturbaciones en principio independientes de la tensión aplicada al objeto a ensayar. Son básicamente las de procedencia exterior al equipo ensayado.
- b. Perturbaciones ligadas a la fuente de la tensión de prueba. Son básicamente las que tienen su origen en el propio equipo de ensayo y generalmente crecen con el aumento de la tensión de ensayo.

Por lo tanto es preciso:

- detectar estas perturbaciones, distinguiéndolas de las DP, es decir, sin confundir unas con las otras,
- determinar su valor equivalente a una DP, o sea, medir el valor de la carga aparente «q» que tendrían si fueran realmente DP,



- 1 y 11. Red de alimentación
2. Divisor o regulador de Tensión
3. Fuente de Alta Tensión
4. Filtro de la fuente de Alta Tensión
5. Cables de interconexión y electrodos
6. Condensador de acoplamiento
7. Objetos metálicos varios cercanos al lugar
8. Interferencias de impulsos
9. Ondas electromagnéticas de radiodifusión
10. Corrientes parásitas en el sistema de tierra

**Fig. 2:** Circuito de medida de DP con fuentes de interferencia típicas.

- eliminarlas totalmente o en la mayor parte posible, sin que esta eliminación afecte a la medición correcta de las DP.

Los sistemas y métodos para eliminar estas perturbaciones son básicamente:

- filtros pasa-banda (ancha o estrecha) intercalados en la conexión entre la impedancia de medida « $Z_m$ » y el equipo de instrumentos de medida «M». Estos filtros «depuran» la señal captada en bornes de « $Z_m$ ».

- impedancia de filtro «Z» colocada a la salida de la fuente de alta tensión para amortiguar las perturbaciones procedentes de esta fuente de alimentación.

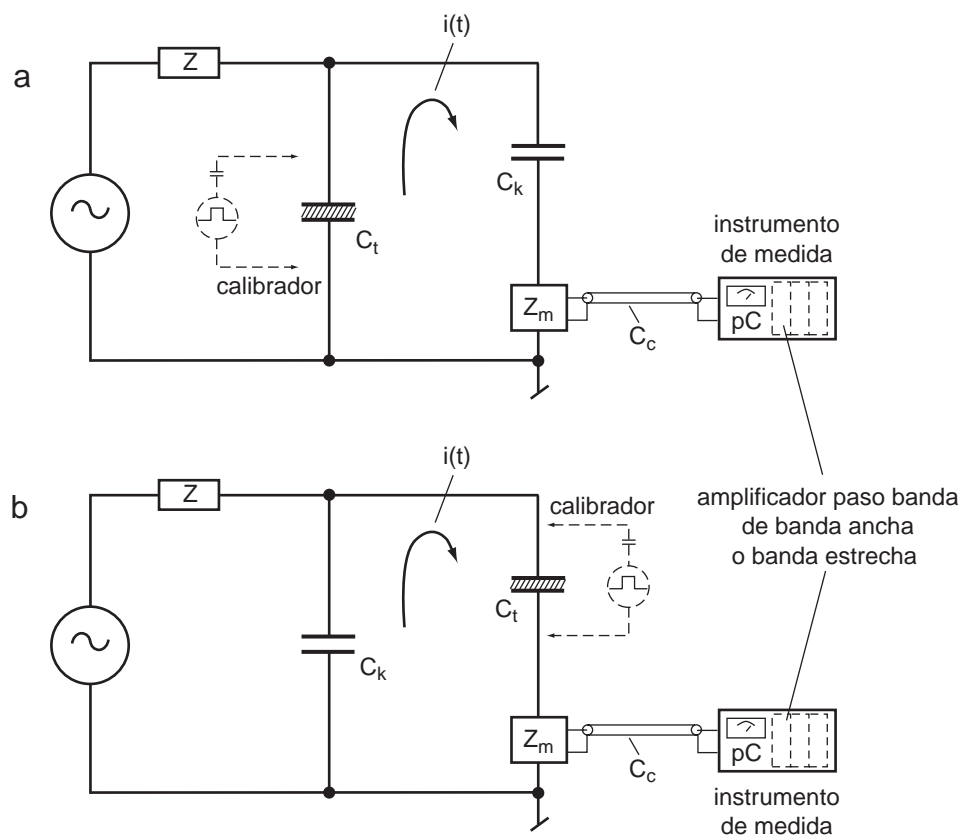
- filtro en la entrada de la tensión auxiliar al equipo de instrumentación «M» para amortiguar las perturbaciones y/o armónicos procedentes de la red de baja tensión.

- antena para captar las interferencias de radiofrecuencia (RF) y mediante circuitos

lógicos determinar su naturaleza y eliminarlas de los circuitos de medida,

- circuitos lógicos que según la polaridad de los impulsos en el condensador de acoplamiento « $C_k$ » y en el objeto a probar (condensador « $C_a$ ») determinan si son DP (polaridad diferente) o si son perturbaciones (misma polaridad).

Cuando se trata de DP de valores pequeños los recursos explicados para eliminar las perturbaciones e interferencias pueden resultar insuficientes. En estos casos el ensayo se realiza dentro de un recinto blindado a manera de jaula de Faraday con todas las masas conductoras conectadas a tierra. Eso además de los otros recursos nombrados, en especial el filtro «Z» amortiguador de las perturbaciones provenientes de la fuente de alimentación de alta tensión.



**Fig. 3:** Clasificación de las interferencias.

## 2.2

### Consideraciones al método eléctrico

#### 2.2.1.- Valores máximos

Las normas correspondientes a ciertos elementos y/o aparatos eléctricos de media y alta tensión como cables, transformadores de medida y de potencia, equipos de maniobra, etc., indican valores máximos admisibles del nivel DP expresados en picocoulomb de carga aparente «q». Así por ejemplo, para transformadores de medida 50 pC, para transformadores de potencia de aislamiento seco (resina) también 50 pC, etc.

Para atravesadores SF<sub>6</sub>/aire y para atravesadores AT de transformadores se acostumbra a indicar el orden de 3 pC como valor admisible.

Los valores indicados en pC se entienden para una tensión aplicada igual a la nominal del objeto a probar.

#### 2.2.2.- Medidas

Se ha dicho antes que para el adecuado control del estado de un aislamiento, es conveniente repetir la medida de las DP en intervalos de tiempo a fin de comparar los valores obtenidos con los de medidas anteriores, por ejemplo la medición hecha en la fábrica al finalizar la construcción, y antes de la entrega.

Esto quiere decir que las posteriores medidas de DP se harán cuando aquel elemento o aparato esté instalado y en servicio. En muchas ocasiones se trataría de hacer una medida en el lugar de la instalación (medida «in situ»). Ahora bien en la práctica, en muchos casos esta

medida «in situ» es difícil o imposible de realizar.

En efecto, requiere que el objeto a probar (transformador de potencia o de medida, aparato de maniobra, cable, etc.) esté fuera de servicio y además desconectado del resto de la instalación. Esto es cada vez más difícil debido a la creciente exigencia respecto a la continuidad del servicio. La desconexión y posterior reconexión puede ser en ocasiones especialmente laboriosa.

En muchos casos se presentan problemas de espacio para colocar el equipo de medida en el lugar donde está instalado el objeto a probar, sea por las dimensiones del condensador de acoplamiento «C<sub>k</sub>» y/o de la fuente de tensión o bien por las distancias eléctricas necesarias a las otras partes de la instalación, ya que se trata de un ensayo en alta tensión.

El ensayo en la fábrica o un laboratorio se puede hacer dentro de un recinto blindado, que permite obtener resultados más precisos.

En las medidas «in situ», las interferencias de diversas procedencias, disminuyen la precisión de la medida y pueden llegar a hacerla poco comparable con la hecha dentro de un recinto blindado.

Para solventar estas dificultades, se ha desarrollado el procedimiento de evaluación del nivel de DP llamado procedimiento no eléctrico, que la indicada norma UNE-21313 (CEI-270) contempla en los puntos 2.4 y 3.4.1, y que se describe a continuación.

## 2.3

### Método no eléctrico

También llamado «método acústico» para el que se aplicará.

Una descarga parcial (DP) se caracteriza por una liberación muy brusca de energía (pulsación) que se desplaza por el medio, en forma de una onda de presión. El espectro de frecuencias de esta onda, va desde la frecuencia audible hasta algunos MHz (ultrasonidos).

Al propagarse por el medio, esta onda tiene una atenuación que depende de la naturaleza del medio y de la frecuencia.

Si el medio donde se ha producido la DP es al aire (caso de efecto corona en líneas) las frecuencias audibles se propagan mejor (se atenúan menos) que las frecuencias superiores.

Si el medio donde se ha producido la DP es un sólido, un líquido o una combinación de los dos, las frecuencias superiores se atenúan menos (se propagan mejor) que las frecuencias más bajas.

En el caso concreto de los transformadores en baño de aceite (conjunto o combinación de medio sólido y medio líquido) los datos obtenidos del estudio del proceso de la DP apuntan a una acumulación de energía en la banda de frecuencia centrada en los 150 kHz.

El método consiste en captar estas ondas y evaluar su «energía relativa» que es proporcional a la energía de la DP que las ha originado.

Tal como pasa con el concepto de carga aparente, la energía relativa no es igual a la energía realmente liberada por la DP pero al serle proporcional, es utilizable para medir el nivel de DP. Esta energía relativa se expresa en valor adimensional, o sea, no referido a ninguna unidad de la física. Se trata, de medidas arbitrarias enteras llamadas «pulsos» (o «counts» en inglés).

Los equipos, basados en este método, por la medida de la DP en transformadores en baño de aceite se componen de:

- un sensor ultrasónico (transductor piezoeléctrico) que se adosa a las paredes del transformador y capta la onda generada por la DP. Este sensor acostumbra a estar diseñado para un paso de banda estrecho centrado en los 150 kHz. Es del tipo resonante a esta frecuencia, de forma que su sensibilidad es máxima en la banda de los 150 kHz,

- aparato o monitor electrónico digital, el cual está conectado al sensor piezoeléctrico. Amplifica la señal captada por el sensor, la procesa y computa su energía relativa. Es el instrumento de medida (digital o analógico). El aparato tiene un selector de niveles de amplificación de la señal, expresados en dB,

- osciloscopio conectado a este aparato electrónico para visualizar en su pantalla la señal analógica captada, una vez amplificada.

Los equipos actuales tienen todavía otras prestaciones como:

- memorización de las lecturas efectuadas,
- autocalibración para asegurar la repetibilidad de las medidas hechas, a los efectos de la correcta comparación con medidas anteriores o futuras,

- salida para transmisión de los datos y valores medidos, a un ordenador PC compatible.

Son equipos portátiles, no muy grandes, concebidos para hacer medidas «in situ».

En este método de medida se presenta también el problema de las perturbaciones (interferencias). El sensor piezoeléctrico, además de la onda ultrasónica generada por la DP capta también otras ondas de frecuencia, distintas a la DP que distorsionan la medida. En el apartado 2.1 y **figura 1**, anexa, se han especificado las posibles procedencias de las perturbaciones, bastante frecuentes en las instalaciones de alta tensión. Se les llama «ruidos» o «ruidos de fondo».

Con el fin de discriminar y minimizar estos «ruidos» ajenos a la onda de DP, el equipo filtra todas las frecuencias exteriores a la banda de los 150 kHz. De esta manera, aunque no eliminan totalmente los «ruidos», la relación de amplitudes «señal DP/ruido» es mucho más elevada, ya que según lo indicado, el sensor piezoeléctrico tiene su máxima sensibilidad en la citada banda de frecuencia.

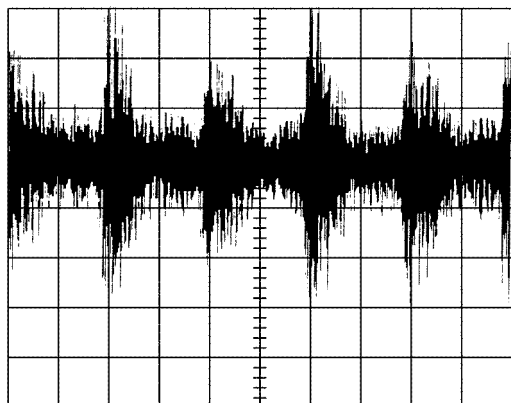
También ayuda a discriminar en los oscilogramas, la señal correspondiente a la DP de las correspondientes a los «ruidos», el hecho de que las descargas parciales son periódicas. Con la tensión de 50 Hz presentan máximos cada 10 ms o sea, a cada máximo, positivo o negativo, de la tensión. Las señales correspondientes a los ruidos acostumbran a ser más desordenadas o aleatorias.

Como ejemplo se anexan algunos oscilogramas de DP obtenidos con este método de medida. (**Figura 4**).

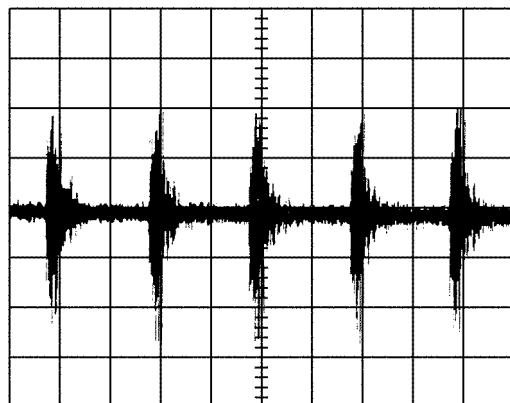
En los nº 1 a 5 se observa esta periodicidad de las DP. Corresponden al caso de la DP relativamente importantes.

Los nº 7 a 9 corresponden al caso de DP poco importantes o casi inexistentes. Situaciones intermedias corresponden a los casos 6 y 10.

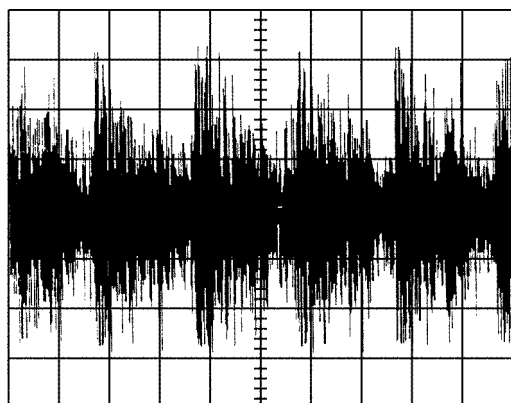
nº 1



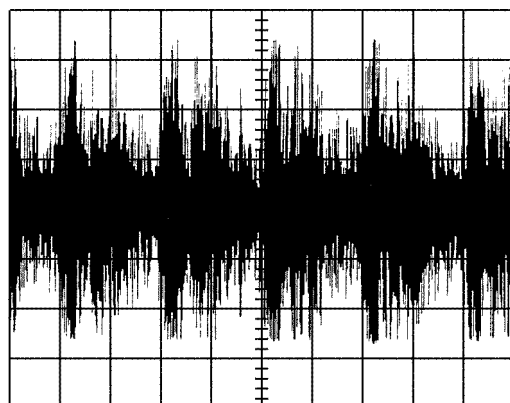
nº 2



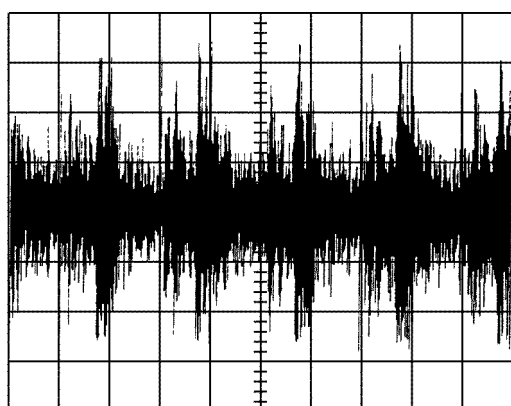
nº 3



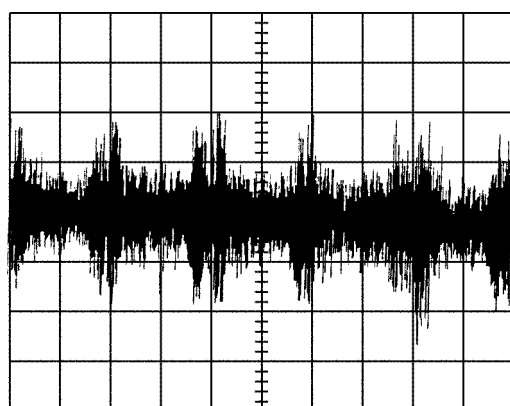
nº 4



nº 5

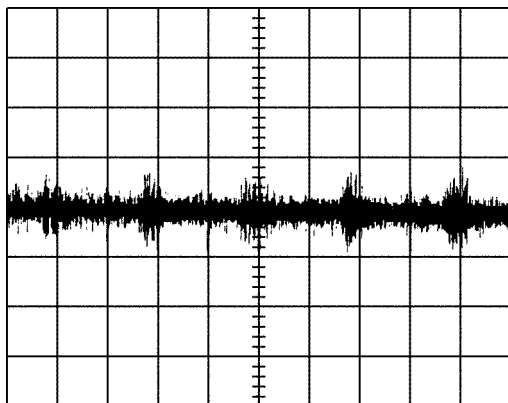


nº 6

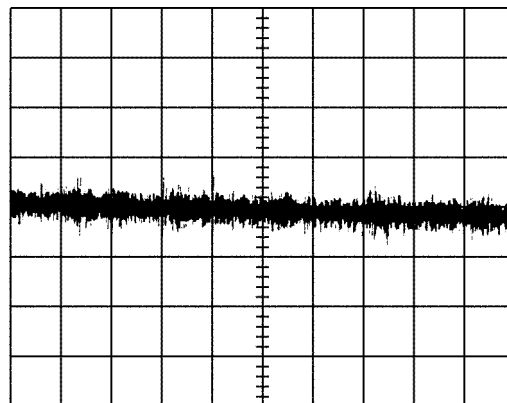


**Fig. 4:** Oscilogramas.

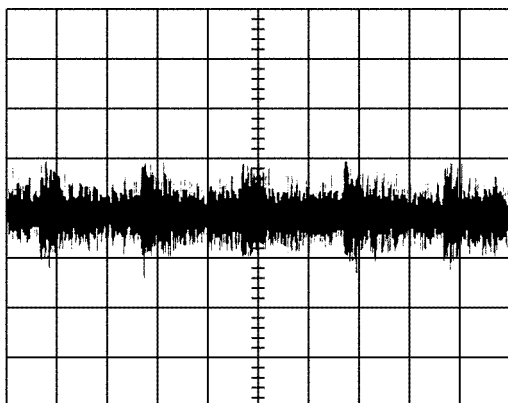
nº 7



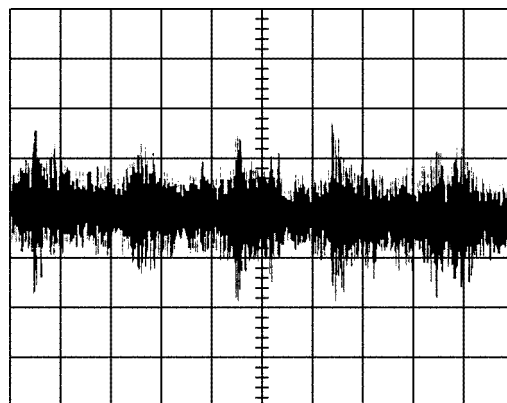
nº 8



nº 9



nº 10



**Fig. 4:** Oscilogramas (continuación).

Hay que tener en cuenta que la energía detectada por el captador depende de los siguientes factores:

- para una DP de intensidad determinada, la amplitud de la onda que llega al captador es función del camino de la descarga y de la atenuación de la onda hasta llegar al sensor, el cual a la vez depende del medio de propagación y de la distancia entre el lugar de la DP y el sensor,
- duración de la señal. La energía no solo es función de la intensidad de la señal sino también del tiempo de duración,
- frecuencia de aparición de la señal. Mayor frecuencia significa mayor energía,
- nivel de amplificación (dB) de la señal.

De todo esto se desprende, que los valores medidos de la energía relativa no pueden ser considerados en un sentido absoluto.

Ahora bien por comparación con valores de referencia (por ejemplo otros transformadores medidos) pueden revelar un orden o nivel de gravedad.

En este método, y más que en el basado en la medida de la carga aparente «q», lo más importante es la comparación de los valores obtenidos con las anteriores medidas o sea, la evolución temporal o tendencia.

Lógicamente, las sucesivas medidas, para que sean comparativas se han de hacer en las mismas condiciones de:

- situación del sensor piezoeléctrico en el transformador,
- tensión y frecuencia de alimentación del transformador,
- nivel de amplificación de la señal.

En relación a la posibilidad de establecer una correlación entre los valores obtenidos con el método de medida de la carga aparente «q» en pC, y el de medida de la energía relativa en «pulsos» o «counts», hace falta decir lo siguiente, refiriéndonos concretamente a los transformadores en baño de aceite.

La medida pC se hace en la fábrica constructora o en un laboratorio, antes de la entrega al comprador, y sirve para comprobar que el valor obtenido no sobrepasa el máximo admisible indicado por la norma, o bien acordado previamente con el comprador. Desde este punto de vista, el valor en pC es definitorio en sí mismo, aunque no se hagan posteriores medidas.

En otro aspecto, el valor medido en pC, es un valor global de las DP de todo el transformador o bien de las de cada fase, si la medición se hace fase por fase. En la práctica, no es factible mejorar la discriminación.

La medida en pulsos de energía relativa para el sensor piezoeléctrico, se realiza en el lugar de la instalación cuando el transformador ya lleva un cierto tiempo en servicio, y de manera periódica, por ejemplo incluida en el programa de mantenimiento preventivo o predictivo.

En otro aspecto, los valores medidos corresponden a puntos concretos del transformador, según donde se coloca el captador piezoeléctrico. Esto que según se explicará más adelante, es una de las grandes ventajas de este método, hace en cambio inviable establecer una correlación con los valores medidos en pC.

Según ya se ha indicado antes, la medida en «pulsos» de energía relativa tiene como objetivo primero el seguimiento de la

tendencia o evolución temporal del estado de los aislamientos en lo que concierne a las DP, a base de medidas en intervalos de tiempo.

### **2.3.1.- Consideraciones al método no eléctrico**

Este método de medida no eléctrico de las DP en pulsos de energía relativa presenta dos importantes ventajas:

- posibilidad de medida en el lugar de la instalación y con el transformador en servicio. Aspecto ya explicado,

- posibilidad de localizar la zona o zonas del transformador donde se producen las DP. Esta ventaja está implícitamente indicada en la ya nombrada norma UNE-21313 (apartado 3.4.1).

Se va colocando el captador en diferentes puntos de las paredes y del fondo del transformador y se van haciendo medidas, con el mismo nivel de amplificación de la señal.

La misma comparación entre los valores obtenidos en los diversos puntos puede dar ya una primera indicación («pista»), puede aparecer un valor significativamente elevado, etc.

Para realizar una exploración sistemática se recomienda ir colocando el captador en puntos de las paredes del transformador en intervalos de 1,5 m aproximadamente. También colocarlo en el fondo de la cuba.

Si se trata de un transformador grande esta medida sistemática puede resultar las primeras veces laboriosa, para medidas sucesivas es posible simplificar la medida eliminando los puntos de valores bajos y concentrándose los puntos de valores altos,

- la experiencia de cada caso determina la política a seguir.