

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 723 430**

21 Número de solicitud: 201800043

51 Int. Cl.:

G01R 31/12 (2010.01)

G01R 35/00 (2006.01)

G01R 29/24 (2006.01)

12

PATENTE DE INVENCION CON EXAMEN

B2

22 Fecha de presentación:

20.02.2018

43 Fecha de publicación de la solicitud:

27.08.2019

Fecha de modificación de las reivindicaciones:

17.10.2019

Fecha de concesión:

09.10.2020

45 Fecha de publicación de la concesión:

19.10.2020

73 Titular/es:

**FUNDACIÓN PARA EL FOMENTO DE LA
INNOVACIÓN INDUSTRIAL (100.0%)
C/ José Gutiérrez Abascal 2
28006 Madrid (Madrid) ES**

72 Inventor/es:

**GARNACHO VECINO, Fernando;
ÁLVAREZ GÓMEZ, Fernando y
KHAMLICHY EL KHAMLICHY, Abderrahim**

74 Agente/Representante:

CALCERRADA CARRIÓN, Francisco

54 Título: **Método para la evaluación y calificación de las características funcionales de instrumentos de medida y diagnóstico de descargas parciales e instalación para generar series de pulsos de referencia de descargas parciales**

57 Resumen:

Método para la evaluación y calificación de las características funcionales de instrumentos de medida y diagnóstico de DP, que comprende las siguientes etapas:

- generación (1) a partir de una instalación (100) de ensayo de AT a escala de, al menos, una serie de ensayo de pulsos de referencia de OP característica de un tipo de defecto eléctrico representativo de las redes de AT,
- generación de, al menos, una señal de ruido eléctrico,
- superposición (14) mediante acoplamiento electromagnético con separación galvánica de una o varias de las series de pulsos de referencia de DP generadas correspondientes a una característica funcional concreta del instrumento de medida y diagnóstico para valores discretos de carga y de la señal o señales de ruido eléctrico generadas, y
- evaluación y calificación (15) de dicha característica funcional del instrumento de medida y diagnóstico mediante suministro de la superposición de señales y lectura para comparar con los valores esperados.

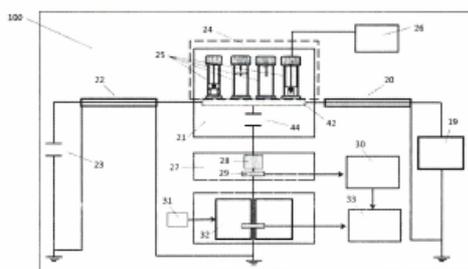


Fig 2

Aviso: Se puede realizar consulta prevista por el art. 41 LP 24/2015. Dentro de los seis meses siguientes a la publicación de la concesión en el Boletín Oficial de la Propiedad Industrial cualquier persona podrá oponerse a la concesión. La oposición deberá dirigirse a la OEPM en escrito motivado y previo pago de la tasa correspondiente (art. 43 LP 24/2015).

ES 2 723 430 B2

DESCRIPCIÓN

Método para la evaluación y calificación de las características funcionales de instrumentos de medida y diagnóstico de descargas parciales e instalación para generar series de pulsos de referencia de descargas parciales

Objeto de la invención

La presente invención se refiere a un método para la evaluación y calificación de las características funcionales de instrumentos de medida y diagnóstico de descargas parciales, y a una instalación para generar series de pulsos de referencia de descargas parciales para ser utilizadas en el método para evaluar las características funcionales de los instrumentos de medida.

Antecedentes de la invención

Uno de los principales problemas que presentan los aislamientos de alta tensión (en adelante en el presente documento AT) es la aparición de fallos imprevistos originados por defectos en los dieléctricos de los distintos elementos que aíslan eléctricamente las partes a AT.

En condiciones normales de funcionamiento los aislamientos de las instalaciones eléctricas de AT están sometidos a esfuerzos eléctricos, mecánicos, térmicos y ambientales. Estos esfuerzos, tienden a envejecer y a degradar los dieléctricos, provocando defectos cuya evolución final conduce al fallo del aislamiento y consecuentemente a un arco de potencia con fuerte capacidad destructiva. También es posible la aparición de defectos en los aislamientos debido a fallos en los procesos de fabricación y de montaje de los elementos que componen las instalaciones.

Las descargas parciales (DP en adelante en el presente documento) pueden considerarse como un indicador relevante del estado de salud de los aislamientos. Las DP son, en general, el cortocircuito parcial del aislamiento y son señales característicamente pulsantes que se manifiestan como pulsos de corriente de corta duración. Los pulsos de corriente de una DP justo en el punto donde se producen tienen una duración de unidades o decenas de nanosegundo, pero conforme se propagan por la red se atenúan y se distorsionan perdiendo las componentes de mayor frecuencia, presentando una duración en torno a 1 microsegundo. La magnitud generalmente utilizada para cuantificar estos pulsos es su carga, que corresponde con el área de la señal de corriente en el dominio del tiempo.

La medida de DP permite detectar defectos en los elementos aislantes. En la actualidad, la medida de DP se ha convertido en uno de los principales métodos de diagnóstico utilizado en el mantenimiento preventivo y en el mantenimiento basado en el estado de los elementos eléctricos de AT. Entre las principales ventajas de la medida de DP se pueden destacar:

- La capacidad de detectar anomalías en los elementos aislantes de los equipos de AT fruto de defectos de fábrica, de fallos en los procesos de montaje de las instalaciones o del propio envejecimiento de los aislamientos, y
- La posibilidad de realizar las medidas con las instalaciones en servicio (medidas online), lo que supone una ventaja importante para llevar a cabo el mantenimiento adecuado de sus activos.

La actividad de DP puede ser detectada aplicando métodos de medida electromagnéticos, acústicos, ópticos, o mediante el análisis químico de subproductos derivados de las descargas. Los métodos electromagnéticos son los más utilizados por su versatilidad y eficacia. La medida

de DP mediante técnicas de detección electromagnéticas se lleva a cabo en la actualidad en los laboratorios aplicando el método normativo conforme a la norma IEC 60270 (denominado también método convencional), o en campo aplicando métodos no convencionales, presentados en la especificación técnica IEC 62478. Cuando se aplica el método normativo, las medidas se hacen en anchos de banda por debajo de 1 MHz, mientras que cuando se aplican métodos no convencionales se suele medir en bandas comprendidas en rangos de alta frecuencia ($HF \leq 30$ MHz), de muy alta frecuencia ($30 \text{ MHz} < VHF \leq 300$ MHz) y de ultra alta frecuencia ($300 \text{ MHz} < UHF > 3$ GHz).

10 Cuando se aplican métodos de detección electromagnéticos en redes de corriente alterna, generalmente el resultado de las medidas de DP se representa mediante patrones de DP resueltos en fase (DPRF), en los que se muestra la amplitud de los pulsos y el instante de tiempo en el que fueron generados con respecto a la señal de referencia de la tensión a la que está sometido el aislamiento. Estos patrones están relacionados con la naturaleza de los tipos de defecto, por lo que mediante su análisis, es posible identificar el tipo de defecto de aislamiento donde se genera un proceso de degradación por DP.

En el mercado hay múltiples instrumentos de medida que disponen de herramientas de procesado de señal para eliminar el ruido, localizar la posición donde se generan las DP a lo largo de una línea aislada o en un equipo, separar las fuentes generadoras las DP e identificar las causas que las producen. Consecuentemente, es preciso evaluar la capacidad de los instrumentos de medida y de diagnóstico con el fin de comprobar si son más o menos eficaces frente a las funcionalidades indicadas.

25 Los problemas principales a los que se enfrentan los técnicos analistas de medias de DP son los siguientes:

- 1) Problema de la sensibilidad en la medida de pulsos de DP frente a señales de ruido eléctrico.
- 2) Problema de la localización de defectos que generen DP.
- 3) Problema de la determinación de la ubicación del elemento afectado en caso de que el defecto generador de DP se encuentre próximo a la frontera de interconexión entre dos equipos de AT.
- 4) Problema de la separación de diferentes fuentes de DP correspondientes a diferentes defectos producidas en un mismo equipo.
- 5) Problema de la identificación de la causa física que genera el defecto asociado a cada una de las fuentes de DP.

En el problema de la sensibilidad en la medida frente al ruido eléctrico, el ruido eléctrico o interferencia electromagnética enmascara la medida de DP. Los equipos comerciales disponen de filtros analógicos, filtros digitales, filtros selectivos u otros filtros de procesamiento de la señal que tratan de eliminar el ruido eléctrico, manteniendo lo más intacta posible la señal de corriente de las DP generadas en los defectos. Se dice que un filtro es tanto más efectivo cuanto más capaz es de eliminar el ruido eléctrico con la mínima atenuación y distorsión de las señales de DP. Sin embargo la señal del pulso de la DP siempre sufre una cierta atenuación y una distorsión tras el filtrado, por lo que es importante evaluar la pérdida de señal de la DP tras el filtrado.

En el problema de la localización de las fuentes de DP, cuando las DP generadas en una fuente se propagan a lo largo de un cable (cuya longitud es conocida) en una red es necesario identificar la distancia a la que se encuentra dicha fuente desde el extremo donde se coloca el sensor conectado al instrumento de medida a evaluar.

5 En el problema de la determinación de la ubicación del elemento afectado en caso de que el defecto generador de DP esté en las proximidades de un punto frontera entre dos elementos de la red (p.e. en un cable y un transformador), es necesario identificar en cuál de los elementos interconectados se encuentra la fuente de descargas parciales que produce el defecto.

10 En el problema de la separación de fuentes productoras de DP situadas en un mismo equipo, es obviamente necesaria esta separación para detectar todos los defectos presentes, ya que hay fuentes productoras de DP que pueden ocultar a otras.

15 En el problema de la identificación de la causa física que genera un defecto, es obviamente necesaria esta identificación, ya que se está buscando el tipo de defecto asociado a cada fuente de DP.

20 Los instrumentos de medida y de diagnóstico de DP tratan de resolver con fiabilidad los problemas anteriormente indicados, incorporando operatividades o herramientas que son capaces de evaluar ciertas características funcionales para resolver cada uno de estos problemas. Por lo tanto, esta invención trata de evaluar si los instrumentos de medida y diagnóstico son más o menos eficaces frente a estos retos.

25 Precisamente para evaluar la fiabilidad de los instrumentos de medida y de diagnóstico de DP frente a los problemas indicados, se conocen por parte del inventor los siguientes antecedentes útiles para la evaluación de los instrumentos de medida de DP:

30 **1) Calibrador de pulsos de DP conforme a la IEC 60270** (ver referencia [1] en tabla de descripción). Se recoge en el documento: International Standard IEC 60270. High Voltage Test Techniques - Partial Discharge Measurements, 3rd ed.; International Electrotechnical Commission: Geneva, Switzerland, 2000. La solución propuesta por la norma IEC 60270 es generar pulsos de DP mediante la descarga de un condensador C_0 previamente cargado a una tensión continua U_0 de forma que acumula una carga almacenada de $Q_0=C_0U_0$. La carga y descarga se realiza normalmente en un intervalo de tiempo periódico asociado con el periodo de la tensión alterna de la red. La descarga del condensador se realiza de forma súbita cerrando un interruptor de mercurio o similar para que no produzca rebotes y su tiempo de cierre sea despreciable.

35 Esta solución presenta los siguientes inconvenientes:

40 a) No genera una serie de pulsos representativa de un defecto, solo pulsos periódicos de la misma amplitud seleccionada. No permite generar una secuencia de dos pulsos consecutivos en un tiempo predefinido para simular una secuencia real de pulsos de DP.

45 b) No permite generar una señal de ruido superpuesto para poder analizar la sensibilidad frente al ruido eléctrico.

c) No permite simular la propagación de las DP por un cable.

50 d) No permite ubicar una fuente de DP a uno u otro lado de una frontera de conexión entre dos equipos.

e) No permite generar diferentes fuentes de DP para analizar la capacidad de separación de fuentes de un instrumento de medida.

5 **2) Generador de DP en una maqueta de transformador de potencia** (ver referencia [2] en tabla de descripción). Se recoge en el documento: Transformer partial discharge defects simulation device, CN205720535 (U) - 2016-11-23. Se trata de una maqueta de un transformador de aceite con arrollamientos de transformadores que incorpora diferentes tipos de defectos de DP de un transformador de potencia. Las desventajas de esta solución frente a la presentada se indica en la tabla 1.

10 Esta solución presenta los siguientes inconvenientes:

a) Aunque se generan defectos de transformadores no se especifica cómo se han realizado ni los rangos de operación.

15 b) No permite generar una señal de ruido superpuesto para poder analizar la sensibilidad frente al ruido eléctrico.

c) No permite simular la propagación de las DP por un cable.

20 d) No permite ubicar una fuente de DP a uno u otro lado de una frontera de conexión entre dos equipos.

25 e) No se contempla la posibilidad de generar diferentes fuentes de DP de forma simultánea para analizar la capacidad de separación de fuentes de un instrumento de medida.

30 **3) Generador de DP en una maqueta aislada con SF₆** (ver referencia [3] en tabla de descripción). Se recoge en el documento: A as discharge room for gas – insulated electrical equipment partial discharge multisource defects, CN205749796 (U) - 2016- 11-30. Se trata de una maqueta que genera sólo DP en defectos no especificados que se producen en equipos aislados con SF₆.

Esta solución presenta los siguientes inconvenientes:

35 a) No se especifican los defectos generados.

b) No permite generar una señal de ruido superpuesto para poder analizar la sensibilidad frente al ruido eléctrico.

40 c) No permite simular la propagación de las DP por un cable.

d) No permite ubicar una u otra fuente de DP a uno u otro lado de una frontera de conexión entre dos equipos.

45 e) No se contempla la posibilidad de generar diferentes fuentes de DP de forma simultánea para analizar la capacidad de separación de fuentes de un instrumento de medida.

50 **4) Generador de DP en una maqueta aislada con SF₆** (ver referencia [4] en tabla de descripción). Se recoge en el documento: Inside multiple partial discharge's of GIS analogue means, CN205643609 (U) - 2016-10-12. Se trata de una maqueta que genera DP en defectos que se producen en equipos aislados con SF₆.

Esta solución presenta los siguientes inconvenientes:

- a) Aunque se generan defectos en SF₆ los rangos de operación son muy altos (110 kV). Además no se contempla la generación de DP con tensión continua.
- 5 b) No permite generar una señal de ruido superpuesto para poder analizar la sensibilidad frente al ruido eléctrico.
- c) No permite simular la propagación de las DP por un cable.
- 10 d) No permite ubicar una u otra fuente de DP a uno u otro lado de una frontera de conexión entre dos equipos.
- e) No se contempla la posibilidad de generar diferentes fuentes de DP de forma simultánea para analizar la capacidad de separación de fuentes de un instrumento de medida.
- 15

5) **Generador sintético de DP** (ver referencia [5] en tabla de descripción). Se recoge en el documento: Partial discharge signal generator, CN203241526 (U) - 2013-10-16. Se trata de un dispositivo electrónico que genera de forma sintética cuatro tipos de pulsos de DP sin especificar los fundamentos de generación.

20

Esta solución presenta los siguientes inconvenientes:

- 25 a) No se especifica la capacidad de generar una serie de pulsos representativa de un defecto. Tampoco se especifica la capacidad de generar una secuencia de pulsos consecutivos en un tiempo predefinido para simular una secuencia real de pulsos de DP.
- 30 b) No permite generar una señal de ruido superpuesto para poder analizar la sensibilidad frente al ruido eléctrico.
- c) No permite simular la propagación de las DP por un cable.
- 35 d) No permite ubicar una fuente de DP a uno u otro lado de una frontera de conexión entre dos equipos.
- e) No se especifica la capacidad de generar diferentes fuentes de DP de forma simultánea para analizar la capacidad de separación de fuentes de un instrumento de medida.
- 40

6) **Generador de señales de DP por descarga de condensador** (ver referencia [6] en tabla de descripción). Se recoge en el documento: Integrated controllable partial discharge instrument pulse signal generator, CN105044640 (A) - 2015-11-11. Se trata de un dispositivo electrónico programable conectado a un condensador para generar formas de onda de tipo DP sin especificar los fundamentos de generación.

45

Esta solución presenta los siguientes inconvenientes:

- 50 a) No es posible la generación de una serie de pulsos representativa de un defecto. Tampoco se especifica la capacidad de generar una secuencia de pulsos consecutivos en un tiempo predefinido para simular una secuencia real de pulsos de DP.

- b) No permite generar una señal de ruido superpuesto para poder analizar la sensibilidad frente al ruido eléctrico.
- c) No permite simular la propagación de las DP por un cable.
- d) No permite ubicar una fuente de DP a uno u otro lado de una frontera de conexión entre dos equipos.
- e) No es posible generar diferentes fuentes de DP de forma simultánea para analizar la capacidad de separación de fuentes de un instrumento de medida.

7) Generador de pulsos de DP (ver referencia [7] en tabla de descripción). Se recoge en el documento: Partial discharge pulse generator JPH 1038946 (A) - 1998-02-13. Se trata de un generador de pulsos artificiales de características similares a las DP.

Esta solución presenta los siguientes inconvenientes:

- a) No genera una serie de pulsos representativa de un defecto, solo pulsos artificiales de características similares a las DP. No se contempla la generación de una secuencia de dos pulsos consecutivos en un tiempo predefinido para simular una secuencia real de pulsos de DP.
- b) No permite generar una señal de ruido superpuesto para poder analizar la sensibilidad frente al ruido eléctrico.
- c) No permite simular la propagación de las de DP por un cable.
- d) No permite ubicar una fuente de DP a uno u otro lado de una frontera de conexión entre dos equipos.
- e) No permite generar diferentes fuentes de DP para analizar la capacidad de separación de fuentes de un instrumento de medida.

8) Plataforma de ensayo para medir múltiples fuentes de DP (ver referencia [8] en tabla de descripción). Se recoge en el documento: A new design of a test platform for testing multiple partial discharge sources, A. Rodrigo Mor et al. Electrical Power and Energy Systems, Elsevier, 2017. Se trata de una plataforma de ensayo donde se disponen fuentes generadoras de DP.

Esta solución presenta los siguientes inconvenientes:

- a) Aunque se generan pulsos de DP en seis tipos de defectos, estos son rígidamente fijos y posteriormente no se contempla la reproducción de DP de forma sintética. Tampoco la generación de DP con tensión continua.
- b) No permite generar una señal de ruido superpuesto para poder analizar la sensibilidad frente al ruido eléctrico.
- c) No permite simular la propagación de las DP por un cable.
- d) No permite ubicar una fuente de DP a uno u otro lado de una frontera de conexión entre dos equipos.

- e) Aunque es posible generar diferentes fuentes de DP de forma simultánea para analizar la capacidad de separación de fuentes de un instrumento de medida, no permite reproducir analógicamente el mismo ensayo con defectos sin necesidad de generar AT.

5

Descripción de la invención

El método para la evaluación y calificación de las características funcionales de instrumentos de medida y diagnóstico de DP permite realizar dicha evaluación y calificación con plena fiabilidad ante a los problemas de sensibilidad de medida de pulsos de tipo de DP frente a señales de ruido eléctrico, de localización de defectos que generen DP, de ubicación del elemento afectado en caso de que el defecto generador de DP se encuentre próximo a la frontera de interconexión entre dos equipos de AT, de separación de diferentes fuentes de DP correspondientes a diferentes defectos producidas en un mismo equipo o instalación y de identificación de cada una de las fuentes de DP con la causa física que la origina, ya que incorpora todas las operatividades siguientes:

- Capacidad de generar pulsos de DP representativos defectos tipo en aislamientos eléctricos, ya sea en corriente alterna o continua.
- Capacidad de superponer ruido eléctrico en los pulsos de DP generados.
- Capacidad de generar pulsos decalados en el tiempo para simular su propagación por la red.
- Capacidad de disponer fuentes de DP a uno u otro lado de una frontera entre de dos equipos de AT, y
- Capacidad de generar varios defectos tipo simultáneamente.

Esto le permite evaluar características funcionales fundamentales de los instrumentos de medida y diagnóstico de DP, tales como las siguientes, entre otras:

- sensibilidad de detección de un tipo de defecto frente al ruido,
- capacidad para asociar una fuente generadora de pulsos de DP con un tipo de defecto eléctrico, frente a condiciones de ruido eléctrico,
- capacidad de separar diferentes fuentes generadoras de DP medidas con un solo sensor frente a condiciones de ruido eléctrico,
- capacidad de identificar de donde proceden los pulsos de DP cuando son detectados por un solo sensor situado en la conexión a tierra frontera entre dos equipos, frente a condiciones de ruido eléctrico, y
- error de localización expresado en metros de una fuente de DP a lo largo de un cable medido con uno o dos sensores de alta frecuencia, frente a condiciones de ruido eléctrico.

De acuerdo con la invención, el método en su versión más elemental comprende las siguientes etapas:

- generación a partir de una instalación de ensayo de AT a escala, u opcionalmente desde un generador sintético de pulsos artificiales obtenidos a partir de dicha instalación de ensayo a escala, de una serie de ensayo compuesta por al menos, una serie de pulsos de referencia de DP característica de un tipo de defecto eléctrico representativo de las redes de AT, (en este documento la instalación de ensayo de AT es una maqueta de reducidas dimensiones y de unos pocos kilovoltios, y el generador sintético es un conversor D/A que produce series de pulsos de DP que caracterizan a

un defecto concreto -de aislamiento, falso contacto, partículas flotantes, etc.- que podemos simular en dicha instalación).

- generación de, al menos, una señal de ruido eléctrico,
- 5 - superposición mediante acoplamiento electromagnético con separación galvánica de una o varias de las series de pulsos de referencia de DP generadas correspondientes a una característica funcional concreta del instrumento de medida y diagnóstico para valores discretos de carga y de la señal o señales de ruido eléctrico generadas, y
- evaluación y calificación de dicha característica funcional del instrumento de medida y diagnóstico mediante suministro al mismo de la superposición de señales para obtener
- 10 la lectura y resultado de diagnóstico de dicho instrumento y comparar con los valores esperados.

De esta forma, y dado que las DP asociadas a los defectos y las señales de ruido son conocidas, sabemos de antemano la lectura que debe dar el instrumento, y se podrá Indicar

15 que para la generación sintética opcional de pulsos artificiales, se parte de una grabación optimizada en memoria de la simulación que se realiza en la instalación de ensayo de AT de las series de pulsos de DP, grabación que se realiza con alta definición temporal (5 ns o 10 ns) y alta resolución (16 bits); solo se guardan los pulsos de DP, rechazando los datos que no contienen pulsos de DP (datos considerados como ruido eléctrico). A tal fin se identifica el inicio

20 y el fin de cada pulso y se guarda además el instante de inicio de cada pulso.

Indicar también que para la preparación de una serie de ensayo se requiere la concatenación por repetición de series de pulsos de DP de referencia más cortas, tantas veces como sea necesario hasta completar una duración de serie más larga, de forma que todas las series

25 quedan combinadas para que se puedan reproducir simultáneamente en el tiempo de ensayo.

Y todo ello de acuerdo con la instalación de la invención, que en su versión igualmente más elemental comprende:

- 30 - un módulo de generación de AT de AC o DC regulable (es suficiente de unos pocos kilovoltios) para simular la alimentación eléctrica de la red.
- un cable de alimentación de características conocidas que se conecta a dicho módulo de generación de tensión,
- 35 - un módulo de cabina conectado al cable de alimentación, que comprende un plato de AT aislado de una envolvente metálica por un condensador, para simular la capacidad de los aislamientos respecto de la envolvente metálica de una instalación,
- un módulo de red eléctrica, que comprende un cable aislado de AT para simular un cable de potencia de la red de transporte o distribución conectado al módulo de cabina y un condensador, para simular la continuidad de las líneas aisladas de la red,
- 40 - un módulo de conjunto de celdas enchufables con defectos tipo para la generación de series de pulsos de DP de referencia, que se encuentra acoplado al plato de AT del "módulo de cabina", y que comprende unas celdas enchufables con defecto tipo conectadas todas ellas al plato de AT, pero quedando libre la conexión de sus masas de cada una,
- 45 - un módulo de medida directa de los pulsos de las series de DP en el origen donde se producen,
- un módulo de medida de la carga de los pulsos de las series mediante el método normativo (IEC 60270) y mediante un transformador de corriente de alta frecuencia
- un módulo de generación y medida de señales de ruido eléctrico,
- 50 - un módulo de superposición de la señal de ruido eléctrico generada con las series de pulsos de DP de referencia generadas para ser aplicada dicha superposición al instrumento de medida y diagnóstico.

Opcionalmente, para la generación sintética de los pulsos de DP artificiales, la instalación también puede comprender un módulo de registro digital optimizado en memoria solo de los pulsos de tipo DP y reproducción analógica mediante convertidos D/A y amplificador.

5 Además de poder evaluar todas las características funcionales fundamentales de los instrumentos de medida y diagnóstico de DP, que era el objetivo inicialmente buscado, debido al vacío tecnológico de las soluciones existentes, se han encontrado las siguientes ventajas adicionales inesperadas inicialmente:

- 10 - registrar (en lugar de pulsos de DP de referencia) los pulsos de DP que se produzcan en una instalación real de AT en servicio, con una alta definición (p.e 5 ns o 10 ns) y una alta resolución (16 bits), para poderlos reproducir analógicamente y fielmente en cualquier instante posterior. Esto posibilita que cualquier equipo de diagnóstico de DP del mercado actual o futuro pueda analizar las medidas de DP para diagnosticar un defecto complicado o crítico de una instalación singular, sin tener que desplazarse a la
- 15 instalación donde se produjeron (p.e en recintos de seguridad de una central nuclear, electrónica de instalaciones espaciales en las que también se empiezan a utilizar las medidas de DP para circuitos impresos).
- al tratarse la instalación de ensayo de AT de una instalación a escala de unos pocos kilovoltios (por ejemplo 12 KV), resulta económica y fácil de usar para formación de
- 20 estudiantes e investigadores,
- la instalación y procedimiento también sirve para chequear la sensibilidad del instrumento de medida a utilizar in situ antes de un ensayo de recepción de una gran instalación (p.e. instalación eólica "off-shore" cable submarino que evacua la energía de un grupo de aerogeneradores en alta mar).
- 25 - la instalación y procedimiento se pueden configurar para analizar cualquier característica funcional que pueda ser de interés en el futuro, ya que todas ellas van poder parametrizarse en base a las operatividades de la invención; efectivamente, entre otras se puede desarrollar/inventar una nueva celda/probeta que incluya un nuevo defecto tipo (enfermedad) representativo que pueda aparecer en las instalaciones de
- 30 AT o en otras área de la técnica (electrónica), la cual solo precisaría incluirse la nueva celda enchufable en el módulo de conjunto de celdas con defectos tipo.
- el registro de series de pulsos de DP identificativas de defectos tipo, con fines de normalización y avance tecnológico de detección de tipos de defectos, si bien se planteaba el problema de la necesidad de utilización de medios de almacenamiento
- 35 analógico de grandes capacidades de datos, lo que ha dado lugar a las soluciones complementarias basadas en el método de optimización de memoria mediante el guardado solo de los pulsos de DP.
- posibilidad opcional de registrar y medir las DP producidas con AT continua, para que se pueda realizar un diagnóstico, ya que es sabido que en estos ensayos normativos, de horas de duración, los pulsos de DP debidas un defecto interno se limitan en número (normalmente pequeño) y amplitud, lo cual es muy difícil conocer por la presencia de
- 40 ruido eléctrico durante el ensayo. Todas estas funciones:
registrar, medir y determinar sólo los pulsos de DP rechazando el ruido que se producen en el ensayo del método con la instalación de AT, y luego se reproducen con facilidad,
- 45 lo que facilitará enormemente aceptar o rechazar el cumplimiento con la normativa de un equipo o instalación en pruebas.

A continuación se incluye una tabla donde se resumen las soluciones antecedentes y las operatividades que ofrecen frente a las necesarias para poder evaluar con fiabilidad los

50 equipos de medida y de diagnóstico de DP frente a los problemas indicados anteriormente, y su confrontación con las operatividades de la invención para facilitar la apreciación de las ventajas que introduce la invención. También se incluyen al pie de tabla diversas indicaciones referentes a dichas funcionalidades.

Operatividades en soluciones conocidas vs operatividades de la invención	i. Capacidad de generar pulsos de DP representativos defectos eléctricos	ii. Capacidad de superponer ruido eléctrico en los pulsos de DP generados	iii. Capacidad de generar pulsos decalados en el tiempo para simular su propagación por la red de cables	iv. Capacidad de disponer fuentes de DP a uno u otro lado de una frontera entre de dos equipos de AT	v. Capacidad de generar varios defectos tipo simultáneamente
1) Calibrador IEC 60270	NO	NO	NO	NO	NO
2) Generador de DP en maqueta de transformador de potencia	SI Aunque no se especifica la realización ni los rangos de operación	NO	NO	NO	NO
3) Generador de DP en maqueta con SF ₆	No se especifican los defectos generados	NO	NO	NO	NO
4) Generador de DP en maqueta con SF ₆	SI Aunque los rangos de generación son muy altos y solo en AC	NO	NO	NO	No se contempla
5) Generador sintético de pulsos de DP	NO	NO	NO	NO	NO
6) Generador de DP por descarga de condensador	NO	NO	NO	NO	NO
7) Generador de pulsos de DP	NO	NO	NO	NO	NO
8) Plataforma de ensayo para medir múltiples fuentes de DP	SI solo con generador de AT y 6 defectos fijos en AC	NO	NO	NO	SI
9) Nueva invención propuesta	SI con generador de AT y con generador sintético en AC y en DC	SI	SI	SI	SI

Notas aclaratorias respecto a las operatividades indicadas:

- 5 i. **Capacidad de generar pulsos de DP representativos de defectos tipo en aislamientos eléctricos**, los cuales se pueden producir: bien a través de una instalación de ensayo de referencia con celdas enchufables e intercambiables diseñadas con defectos tipo por aplicación de AT y en rangos de unos pocos kilovoltios o bien a través de un reproductor digital/analógico de pulsos de DP que hayan sido grabados previamente en ficheros digitales mediante un registrador digital de alta velocidad de muestro, durante un ensayo de AT utilizando la instalación de ensayo de referencia.
- 10 ii. **Capacidad de superponer ruido eléctrico a los pulsos de DP representativos de defectos tipo en aislamientos:** Capacidad para producir o bien ruido matemático de frecuencia modulada, ruido blanco o ruido rosa o bien ruido característico de las instalaciones de AT (ruido de emisoras de radio, ruido de comunicaciones PLC, ruido de electrónica de potencia (IGBTs, Tryristores, etc.) de características controladas que se acoplan electromagnéticamente a los pulsos de DP representativos de defectos tipo para la superposición de ambos sean medidos por el instrumento en evaluación. Todo ello con el propósito de analizar la capacidad del instrumento de medida y diagnóstico para eliminar el ruido y extraer las señales los pulsos de DP correspondientes a los pulsos procedentes de los defectos.
- 15
- 20 iii. **Capacidad de generar pulsos decalados en el tiempo tal como lo haría su propagación por la red:** Capacidad para generar pulsos atenuados, distorsionados y decalados en el tiempo en un intervalo temporal igual al necesario para recorrer, a la velocidad de propagación del cable, la longitud de un de los dos cables dispuestos en la instalación de ensayo de referencia que corresponde a la distancia entre la fuente productora de los pulsos de DP y el sensor del sistema de media en evaluación y calificación que los mide. Todo ello con el propósito de evaluar el error del sistema de medida en evaluación y calificación en su función de determinación de la posición de una fuente productora de DP a lo largo de un cable.
- 25
- 30 iv. **Capacidad de disponer fuentes de DP a uno u otro lado de una frontera de interconexión entre de dos equipos de AT.** Capacidad de colocar los bornes de las celdas con los defectos tipo en paralelo con el aislamiento de uno u otro elemento de la maqueta de la instalación de ensayos de AT, en concreto en paralelo con el cable o en paralelo con el módulo de cabina de la referida instalación de ensayo de AT. Todo ello con el propósito de evaluar capacidad del instrumento de medida y diagnóstico de DP para identificar si la fuente de DP está a uno u otro lado de la frontera de interconexión.
- 35
- 40 v. **Capacidad de generar varios defectos tipo simultáneamente.** Capacidad de generar simultáneamente múltiples fuentes de DP representativas de defectos tipo indicados en el punto i) mediante la aplicación de AT alterna y continua y en rangos de unos pocos kilovoltios o reproduciendo pulsos de DP artificiales grabados en ensayos previos. Todo ello con el propósito de evaluar la capacidad del instrumento de medida y diagnóstico de DP para separar las diferentes fuentes de DP y evaluar la capacidad para diagnosticar el defecto o causa que produce la fuente productora de pulsos de DP.
- 45

Breve descripción de los dibujos

50 Para completar la descripción y con el objeto de ayudar a una mejor comprensión de las características de la invención según una realización práctica de la misma, acompañando a dicha descripción se presentan las siguientes figuras, en las que a modo de ilustración y de manera no restrictiva, se presenta lo siguiente:

La figura 1.1 muestra un diagrama de flujo del método para la evaluación y calificación de las características funcionales de instrumentos de medida y diagnóstico de DP en su realización más sencilla.

5 La figura 1.2 muestra un diagrama de flujo del método para la evaluación y calificación de las características funcionales de instrumentos de medida y diagnóstico de DP según una posible realización de la invención que comprende la generación de los pulsos de referencia desde un generador sintético.

10 La figura 2 muestra un esquema de la instalación de ensayo de AT a escala que hace posible la generación de series de pulsos de referencia de DP y la evaluación y calificación de las características funcionales de los instrumentos de medida, según una posible realización de la invención.

15 La figura 3 muestra los planos de detalle del módulo de cabina en el que se adapta el módulo del conjunto de celdas enchufables e intercambiables,

La figura 4 muestra los planos del módulo de medida de DP mediante sensor IEC60270 y mediante sensor transformador de corriente de alta frecuencia (HFCT).

20 La figura 5.a muestra módulo de generación y superposición de señales de ruido.

La figura 5.b muestra en detalle la etapa de superposición de señales de ruido.

25 La figura 6 muestra el ejemplo de celda enchufable con defecto tipo cavidad.

La figura 7 muestra el ejemplo de celda enchufable con defecto tipo corona.

30 La figura 8 muestra el ejemplo de celda enchufable con defecto tipo superficial.

La figura 9 muestra el ejemplo de celda enchufable con defecto tipo parte metálica a potencial flotante.

Descripción de una realización práctica de la invención

35 El método para la evaluación y calificación de las características funcionales de instrumentos de medida y diagnóstico de DP de la invención comprende, en su realización más simple, las siguientes etapas (ver figura 1.1):

- 40 - generación (1) a partir de una instalación de ensayo (100) de AT a escala como la mostrada en figura 2 de, al menos, una serie de ensayo de pulsos de referencia de DP característica de un tipo de defecto eléctrico representativo de las redes de AT. Muy preferentemente las series de pulsos de referencia de descarga parcial son producidas en celdas enchufables e independientes (25) (ver figura 2) de la instalación de ensayo, que contienen cada una de ellas un solo defecto tipo (en las figuras 6, 7, 8 y 9 se muestran ejemplos de diversas celdas enchufables (25), de forma que se puede ensayar cualquier defecto conocido o incluso cualquier defecto que se pueda manifestar en el futuro, mediante el diseño de la celda enchufable adecuada.
- 45 - generación de, al menos, una señal de ruido eléctrico,
- 50 - superposición (14) mediante acoplamiento electromagnético con separación galvánica de una o varias de las series de pulsos de referencia de DP generadas (correspondientes a una característica funcional concreta del instrumento de medida y

diagnóstico para valores discretos de carga) y de la señal o señales de ruido eléctrico generadas, y

- evaluación y calificación (15) de dicha característica funcional del instrumento de medida y diagnóstico mediante suministro al mismo de la superposición de señales para obtener la lectura y resultado de diagnóstico de dicho instrumento y comparar con los valores esperados.

Una variante muy preferente del método de la invención ha previsto que la etapa de generación (1) de series de pulsos de DP de referencia en la instalación de ensayo (100) de AT pueda registrarse o almacenarse digitalmente con fines de normalización por ejemplo, para después poder sintetizarla en forma de series de pulsos artificiales a partir de la información registrada en ausencia de la instalación de ensayo (100). Dado que las series de pulsos son analógicas, dicha variante preferente comprende el registro digital de dichas series, para posibilitar su reproducción analógica como series de pulsos artificiales sin necesidad de utilizar la instalación de AT, comprendiendo dicha variante preferente las siguientes subetapas de la etapa de generación (1) (ver figura 1.2):

- la digitalización en bruto (2) de cada serie de pulsos de DP de referencia -generados por la instalación de ensayo (100)- correspondiente a cada defecto,
- el almacenamiento (3) en un banco de datos de cada serie de pulsos digitalizada en bruto,
- el procesamiento (4) o depuración en tiempo real -para almacenamiento (3) optimizado en memoria del banco de datos- de cada serie de pulsos de DP correspondiente a cada defecto mediante la búsqueda, selección y registro en tiempo real de sólo las muestras digitales correspondientes a los pulsos de DP evitando el registro de todas las demás muestras no correspondientes con pulsos de DP, quedando almacenadas en el banco de datos digital únicamente las muestras digitales correspondientes a los pulsos de DP junto con la información del instante de inicio de cada pulso de la serie respecto al instante cero de comienzo del ensayo, obteniendo un banco de datos digital depurado, y
- la síntesis analógica (7) de unas series de pulsos artificiales de DP de interés para la evaluación y calificación de la característica funcional correspondiente a partir de las series digitalizadas y almacenadas en la etapa de almacenamiento (3).

Esta variante de la invención incluye otra etapa de preparación de datos (6) mediante el ajuste de su amplitud y la concatenación por repetición de series de pulsos de DP de referencia más cortas, tantas veces como sea necesario hasta completar una duración de serie más larga, de forma que todas las series quedan combinadas para que se puedan reproducir simultáneamente en el tiempo de ensayo. Esto supone otra ventaja propia de esta variante, ya que debido a la naturaleza digital de los datos almacenados podemos ajustar dicha amplitud y duración a las más convenientes según la característica funcional a evaluar. Esta etapa se realiza preferentemente antes que la síntesis analógica (7), ya que el escalado a nivel de datos es posible y a nivel de fenómeno analógico es mucho más complicado (exigiría cambio de condiciones geométricas, de materiales y de presión, temperatura y humedad). Dicho escalado tendrá la amplitud suficiente para conseguir que, en las etapas siguientes, los pulsos de DP tengan amplitud apropiada para que el valor en carga del ensayo corresponda con el valor de carga objetivo durante dicho ensayo; para ello, una vez realizada la síntesis analógica (7) con el correspondiente convertidor digital/analógico, se realiza una etapa de medición (8) de las DP mediante un instrumento de referencia, y en caso que la amplitud medida de DP no corresponda con la de la prueba de evaluación y calificación se realimenta el proceso para, en la etapa de preparación de datos (6), reajustar el escalado de los pulsos digitales de DP, que fueron extraídos del banco de datos depurado.

La búsqueda y selección de los pulsos de DP y eliminación de las muestras no correspondientes a pulsos que realiza el procesamiento (4) de las señales digitalizadas en bruto, el método de la invención ha previsto que se realice idealmente mediante:

- 5 - identificación del instante de inicio de los pulsos en cada serie mediante filtro de DP basado en la transformada wavelet procesada con multiprocesadores o en una FPGA, y
- grabación del pulso por un tiempo comprendido entre 1 y 2 μ s a partir de dicho instante (preferentemente de 2 μ s), ya que ofrece la precisión suficiente para la identificación del pulso de tal forma que el tiempo de grabación necesario es muy pequeño, aligerando los requisitos de almacenamiento. Con esta misma finalidad, y con la de conseguir una
- 10 buena sintetización de los pulsos artificiales tras su digitalización se ha previsto que la digitalización se realice con una definición temporal de hasta 5 ns y una resolución vertical de 16 bits al menos.

Con esta variante se obtiene la ventaja de poder almacenar la información importante de las series de pulsos con requisitos de memoria muy livianos, obteniendo como ventajas adicionales o inesperadas una portabilidad práctica gracias a la generación sintética de unas series de pulsos de DP artificiales características de defectos tipo que pueden ser reproducidos en cualquier sitio y lugar, lo que permite poder realizar las evaluaciones de los instrumentos in situ, justo antes de una medida en campo; y además, muy inesperadamente en principio, se ha

20 obtenido la posibilidad de escalar los pulsos de DP artificiales para adaptar su amplitud a las necesidades de la evaluación y calificación a realizar sin pérdida de calidad.

Igualmente, la posibilidad de que el generador portátil pueda generar pulsos sintéticos artificiales de diferentes tipos de defectos permite fomentar el desarrollo de algoritmos de clusterización para separar las diferentes fuentes generadoras de DP, de identificación de la direccionalidad de los pulsos, así como para la localización de las fuentes de DP.

25

Además esta versión de la generación de series de pulsos de DP de referencia mediante el sintetizador permite prescindir de la instalación de AT a partir de la cual se han registrado, ya que los pulsos analógicos pueden ser generados artificialmente en un conversor D/A, desde su versión almacenada en formato digital, lo que permite que, en laboratorios, centros de investigación y centros de formación, no sea preciso trabajar con equipos de AT para generar las series de pulsos de DP.

30

Entrando en detalle en cuanto a la etapa de generación de, al menos, una señal de ruido eléctrico, dicha etapa comprende idealmente (ver figuras 9a y 9b):

35

- una primera subetapa (9) de generación de una señal primaria de ruido digital a través de un generador arbitrario de funciones (9a) o de una base de datos de ficheros digitales de ruido (9b),
 - 40 - una segunda subetapa (11) de preparación de los datos en amplitud y escalado de la señal primaria de ruido digital, en la proporción que corresponda durante el mismo periodo que la serie de ensayo de pulsos de DP, obteniendo una señal digital preparada,
 - una tercera subetapa (12) de conversión de la señal de ruido digital preparada a ruido analógico en continuo (12) durante el mismo periodo de tiempo que el de la serie de ensayo de pulsos de DP, mediante la utilización de un convertidor D/A adicional,
 - 45 - la medida (13) de la señal de ruido mediante un instrumento de referencia, y en caso que la amplitud medida no corresponda con la de la prueba de evaluación y calificación se procede a la realimentación reajustando el escalado de la señal digital preparada.
- 50

Dichas señales para generación de ruido eléctrico pueden ser por ejemplo:

- señales de ruido blanco,

- señales de ruido rosa,
- señales de ruido de comunicación de PLC, señales de ruido modulado a frecuencias fijas, y
- señales de ruido pulsante de electrónica de potencia.

5

Para realizar una evaluación y calificación (15) realmente fiable, sería conveniente realizar sucesivas etapas de generación (1) de las series de pulsos de DP utilizadas, incrementando su valor de carga en un porcentaje discreto respecto al límite del rango objeto de evaluación y calificación, hasta cubrir los límites de carga objeto de verificación (17), y cubriendo los límites de ruido superpuesto (16) en la verificación de la eficacia del instrumento a evaluar, para obtener una curva de la característica funcional (18) en función de la variable de ruido eléctrico. Esto es muy sencillo de realizar en la versión de generación sintética de pulsos de referencia artificiales, por lo que estas etapas se implementan en el mismo tal como se muestra en la figura 1.2, lo que supone una ventaja adicional de la misma. En la versión a partir de la instalación de ensayo (100) sería extraordinariamente complejo, por lo que en la figura 1.2 no se reflejan estas sucesivas etapas de generación, obteniendo una evaluación (15) puntual en valores discretos de carga.

10

15

Por tanto, si durante la evaluación y calificación, el resultado de la medida y diagnóstico del instrumento a evaluar frente a la característica funcional concreta ha sido desfavorable, el método prevé la disminución de la señal digital preparada de ruido en un porcentaje de la amplitud de los pulsos de DP de las series de pulsos aplicadas y la repetición de la prueba hasta que dicha evaluación sea favorable, obteniendo en ese momento el umbral de la característica funcional buscada (sensibilidad, identificación del tipo de defecto, discriminación de las fuentes de DP, direccionalidad de los pulsos de DP, error de localización del defecto.)

20

25

Concretamente, para la evaluación y calificación de cada característica funcional concreta del instrumento de medida y diagnóstico, el método de la invención comprende el uso (y generación previa por tanto) de una o más series de pulsos de DP asociados a uno o más defectos tipo seleccionados entre los siguientes:

30

35

40

- cavidad interna en aislamiento sólido,
- defecto en un cable a una distancia determinada del sensor de medida de DP
- defecto en aislamiento superficial expuesto al aire ambiente,
- falso contacto,
- parte metálica a potencial flotante en aire,
- corona en aire,
- corona en aceite,
- defecto en aislamiento superficial en aceite,
- defecto en aislamiento superficial en SF6,
- corona en SF6.
- partículas flotantes en SF6.

Por su parte, entre las características funcionales más importantes que se pueden evaluar mediante las operatividades del método de la invención se encuentran incluidas:

45

50

- sensibilidad de detección de un tipo de defecto frente al ruido,
- capacidad para asociar una fuente generadora de pulsos de DP con un tipo de defecto eléctrico, frente a condiciones de ruido eléctrico,
- capacidad de separar diferentes fuentes generadoras de DP medidas con un solo sensor frente a condiciones de ruido eléctrico,
- capacidad de identificar de donde proceden los pulsos de DP cuando son detectados por un solo sensor situado en la conexión a tierra frontera entre dos equipos frente a condiciones de ruido eléctrico, y

- error de localización expresado en metros de una fuente de DP a lo largo de un cable medido con uno o dos sensores de alta frecuencia frente a condiciones de ruido eléctrico.
- 5 A modo de ejemplo, citar que la evaluación y calificación de la característica funcional de sensibilidad de detección de un tipo de defecto frente al ruido comprendería:
- a) elegir una o más series de pulsos de DP de defecto tipo seleccionadas entre:
 - 10 - pulsos de DP de defecto tipo de cavidad en el interior de un aislamiento sólido,
 - pulsos de DP de defecto tipo corona en aire,
 - pulsos de DP de defecto tipo superficial el aire
 - pulsos de DP de defecto parte metálica a potencial flotante,
 - pulsos de DP de defecto tipo de falso contacto,
 - 15 - pulsos de DP de defecto tipo de descarga superficial en aceite
 - pulsos de DP de defecto tipo de partículas flotantes en SF6, y
 - b) elegir un nivel de carga para la serie elegida
 - c) Disminuir el nivel de la señal digital preparada de ruido en un porcentaje de la amplitud de los pulsos de DP hasta que el equipo sea capaz de asociar la serie de pulsos de DP con el tipo de defecto correcto.

20
 - d) repetir el proceso para otro valor de carga inferior hasta la sensibilidad máxima.
- 25 La evaluación y calificación de la característica funcional de capacidad de separar diferentes fuentes generadoras de DP medidas con un solo sensor frente a condiciones de ruido eléctrico comprendería:
- a) elegir las cuatro series de pulsos de DP de defecto tipo siguientes:
 - 30 - pulsos de DP de defecto tipo de cavidad en el interior de un aislamiento sólido
 - pulsos de DP de defecto tipo de corona en aire,
 - pulsos de DP de defecto tipo de falso contacto,
 - pulsos de DP de defecto tipo superficial en aire, y
 - b) elegir un nivel de carga para la serie elegida
 - c) escalar de forma gradual la amplitud del ruido hasta que el equipo sea capaz de separar fuentes de DP por grupos mostrando sus patrones representativos, aunque no hubiera identificado correctamente cada fuente con el defecto tipo que le corresponde.

35
 - d) repetir el proceso para otro valor de carga inferior hasta la sensibilidad máxima.
- 40 La evaluación y calificación de la característica funcional de capacidad de identificar de donde proceden los pulsos de DP cuando son detectados por un solo sensor situado en la conexión a tierra frontera entre dos equipos frente a condiciones de ruido eléctrico sería aplicable solo a los equipos que son capaces de indicar la direccionalidad de los pulsos de DP cuando son medidos por un sensor de tipo transformador de alta corriente situado en la conexión a tierra
- 45 frontera entre dos equipos de AT, y comprendería:
- a) elegir pulsos de DP de defecto tipo de cavidad en el interior de un aislamiento sólido,
 - b) elegir un nivel de carga para la serie elegida
 - c) Disminuir el nivel de la señal digital preparada de ruido en un porcentaje de la amplitud de los pulsos de DP hasta que el equipo sea capaz de identificar de donde proceden los pulsos de DP.

50
 - d) repetir el proceso para otro valor de carga inferior hasta la sensibilidad máxima.

Y la evaluación y calificación de la característica funcional de evaluar el error de localización expresado en metros de una fuente de DP a lo largo de un cable medido con un sólo sensor de alta frecuencia frente a condiciones de ruido eléctrico, que es aplicable solo a los equipos que son capaces de forma automática de indicar la posición de un defecto a lo largo de un cable aplicando reflectometría si solo utilizan un solo sensor de medida de DP o aquellos que utilicen el criterio de tiempo de vuelo si utilizan dos sensores de medida de DP, comprendería:

- a) si se utiliza un solo sensor, de elegir una serie de pulsos de DP defecto tipo cavidad a lo largo de cable situado a una distancia x conocida de uno de los sensores de medida para el cual la evaluación y calificación de la característica funcional se desea realizar,
- b) si se utilizan dos sensores, de elegir dos series de pulsos de DP de defecto tipo cavidad a lo largo de cable situado a una distancia x conocida de uno de los sensores de medida para el cual la evaluación y calificación de la característica funcional se desea realizar,
- c) elegir un nivel de carga para la serie elegida,
- d) escalar de forma gradual de la amplitud del ruido hasta que el equipo sea capaz de determinar la posición del defecto a lo largo del cable.
- e) repetir el proceso para otro valor de carga inferior hasta la sensibilidad máxima.

En caso de que el instrumento a evaluar utilice un sólo sensor, del banco de ficheros digitales de series de DP de referencia se elige una serie de pulsos de DP correspondiente a "defecto en un cable situado a una distancia x al sensor de medida". En este tipo de series cada evento de DP queda registrado en la serie en dos instantes diferentes. El decalaje temporal entre los dos pulsos de la serie corresponde con la diferencia de tiempos que precisa un pulso de DP para llegar al sensor siguiendo estos dos sentidos: viajando directamente la distancia x entre el defecto y el sensor, y viajando en sentido opuesto hasta el extremo del cable abierto ($1-x$) recorriendo posteriormente la longitud total del cable 1 hasta llegar al sensor, es decir $2 \cdot 1-x$.

En caso de que el instrumento a verificar utilice dos sensores, del banco de ficheros digitales de series de DP de referencia se eligen dos series de pulsos de DP correspondientes al "defecto en un cable situado a una distancia x a uno de los dos sensores de medida y ($1-x$) al otro". En estas dos series cada evento de DP queda registrado con decalajes diferentes. El decalaje temporal exacto entre los pulsos registrados en una serie y en otra corresponde con la diferencia de tiempos que precisa un pulso de DP en llegar a uno y a otro sensor, (viajando directamente la distancia x entre el defecto y uno de los sensores y en sentido opuesto la distancia $1-x$ entre el defecto y el otro sensor).

En cuanto a la instalación para generar las series de pulsos de referencia, puede tratarse de una instalación de ensayo (100) de AT a escala (ver figura 2) de unos pocos KV para generar series de pulsos de referencia de tipo descarga parcial (DP), o bien pueden sintetizarse dichas series de pulsos, siempre generados originalmente en dicha instalación de ensayo (100) mediante su almacenamiento digital. procesado o depurado y almacenado digital para generación por analogización según el procedimiento de la invención.

Concretamente, la instalación de ensayo (100) comprende en su versión más básica:

- un módulo de generación de tensión (19) AC o DC regulable (de unos pocos kilovoltios) para simular la fuente de generación de la red,
- un cable de alimentación (20) de características conocidas que se conecta con el módulo de generación de tensión (19),
- un módulo de cabina (21) (ver figura 3) conectado al cable de alimentación (20), que comprende un plato de AT (42) aislado de una envolvente metálica por tres

aisladores (43) y un condensador (44), para simular la capacidad de los aislamientos respecto de la envolvente metálica de una instalación,

- un módulo de red eléctrica, (volver a fig 2) que comprende un cable aislado de AT

5 (22) para simular un cable de potencia de la red de transporte o distribución conectado al módulo de cabina y un condensador (23), para simular la continuidad de las líneas aisladas de la red,

- un módulo de generación de series de pulsos de DP de referencia (24), que se encuentra conectado al plato de AT (42) del módulo de cabina (21), y que comprende un conjunto de celdas enchufables (25) de defecto tipo conectadas todas ellas al plato de AT pero quedando libre cada una de sus masas,

10 - un primer módulo de medida de DP (26) dispuesto en el origen donde se producen,

- un segundo módulo de medida (27) de la carga de los pulsos de las series (ver figura 4) mediante el método normativo (IEC 60270) (28) y mediante un transformador de corriente de alta frecuencia,

15 - un módulo de generación de señal de ruido eléctrico (31),

- un módulo de superposición (32) de la señal de ruido eléctrico generada con las series de pulsos de DP de referencia generadas (ver figura 5), para ser aplicada dicha superposición al instrumento de medida y diagnóstico (33).

20

Para poder registrar y sintetizar las series de pulsos de DP artificiales, además la instalación comprendería en una versión preferente:

- un módulo grabador -en memoria optimizada- y reproductor de pulsos de DP (30) (ver figura 2) que comprende un conversor analógico/digital para la conversión de las series de pulsos analógicos de DP a formato digital, tomados de almacenamiento digital para almacenamiento temporal y definitivo de las series de pulsos digitalizadas, y un módulo de conversión digital/analógico para sintetizar series de pulsos analógicas artificiales a partir de las almacenadas en formato digital,

25

- un filtro, no representado, de ruido y detección de DP basado en la transformada wavelet procesado bien con multiprocesadores o en una FPGA para identificar en tiempo real el inicio del pulso de una DP, y

30

- un temporizador, no representado, para determinar un tiempo definido de grabación de los pulsos de una serie de DP desde la detección del inicio de los mismos

35

Idealmente el módulo grabador y reproductor de pulsos de DP (30) y el módulo de generación de ruido eléctrico (31), son desmontables de la instalación, y portables para poder grabar y reproducir analógicamente las series de pulsos almacenadas y de ruidos característicos a superponer, en emplazamientos diferentes sin necesidad de utilizar la instalación de ensayo de AT. El conversor analógico/digital y el módulo de conversión digital/analógico idealmente tienen iguales valores de definición temporal de 5 ns o 10 ns y de resolución vertical de 16 bits al menos, y tanto el módulo grabador/reproductor de pulsos de DP (30) como el módulo de generación de ruido eléctrico (31) incluyen preferentemente unos escaladores y amplificadores, no representados, para adaptar la amplitud de las series de pulsos y de la señal de ruido generadas.

40

45

Por su parte, cada una de las celdas generadoras (25) (ver figura 2) de series de pulsos de DP de referencia comprende (ver figuras 6 a 9) un electrodo de AT (34) en forma de disco circular conectado al plato del módulo de cabina, un electrodo en forma de varilla (35) enfrentado al electrodo de AT, en el que se captan los pulsos de DP, y un electrodo de masa (36), que puede
5 ser conectado a una de las dos masas siguientes: pantalla del módulo de cable (22) de salida o a la envolvente metálica del módulo de cabina (21) con el fin de analizar la capacidad del instrumento de medida y diagnóstico para detectar direccionalidad de los pulsos.

Por ejemplo, se puede configurar una celda enchufable generadora de DP de referencia de defecto interno en aislamiento (figura 6), la cual comprende el electrodo en forma de varilla (35) terminado en forma de casquete semiesférico, en el que para el rango de tensiones de ensayo el campo eléctrico en la punta del casquete semiesférico es del orden de 3 a 5 kV/mm, disponiendo en la zona del casquete semiesférico de la varilla una base aislante de polietileno (37) que actúa como separador y para apoyar las muestras cilíndricas de aislamiento sólido a
10 ensayar (38), a las que se les practica un hueco en forma de casquete semiesférico para que el electrodo se adapte, y una cavidad de tipo laminar en la parte más profunda del interior de la parte cóncava semiesférica, para que se produzcan los pulsos de DP entre el casquete semiesférico del electrodo y la superficie aislante de la muestra en ensayo.

Otra posible celda enchufable sería para generar DP de referencia de defecto tipo corona en aire (figura 7), la cual comprendería el electrodo superior (34) de aluminio con una forma de semi-casquete esférico al que se le aplica la AT, una varilla metálica (35) de pequeño radio, aislada y apantallada por el electrodo de masa (36) mediante una base aislante de polietileno (37) que actúa como separador y una distancia libre en aire entre el semi-casquete esférico
20 superior y la varilla.

Otra posible celda enchufable sería para generar DP de referencia de defecto tipo superficial en aire (figura 8), la cual comprendería un plato superior (34) a AT, uno o varios discos aislantes de tipo plato (39), un electrodo inferior (35) formado por una varilla acabada en
30 semiesfera en el que se producen y captan los pulsos de DP y el electrodo de masa que hace las funciones de guarda (36) separado de la varilla por un aislante de polietileno (37) que actúa como separador.

Otra posible celda enchufable sería para generar DP de referencia de defecto tipo parte metálica flotante en aire (figura 9), la cual comprendería dos platos de aluminio, uno de ellos conectado a AT (34), otro que actúa como sensor de captación (35), separado del electrodo de masa (36) por un aislante de polietileno (37) que actúa como separador. Además dispone de un elemento metálico a potencial flotante (40) fijado sobre una superficie de material aislante (41), regulable en términos de distancia a ambos platos.
40

En cuanto al módulo de medida (27) de DP comprende preferentemente un primer medidor normativo (28) de DP convencional (conforme a la norma IEC 60270) para medir los pulsos de corriente que circulan a través de una impedancia de media, y un segundo medidor (29) mediante transformador de corriente de alta frecuencia (HFCT) cuyas señales de salida son registradas por el módulo de grabación y reproducción (30).
45

El módulo de generación de señal de ruido eléctrico (31) podría comprender un generador arbitrario de funciones para generación de ruido blanco, ruido rosa, o ruido modulado (9a) o una base de datos de ficheros digitales de ruido representativo de instalaciones eléctricas (9b).

El módulo de superposición (32) de la señal de ruido eléctrico generada con las series de pulsos de DP de referencia generadas, para ser aplicada dicha superposición al instrumento de medida y diagnóstico de DP a evaluar, comprende preferentemente (ver figura 5):

- 5 - un transformador de corriente de alta frecuencia (45) por cuyo secundario se encuentran acopladas ambas señales (ruido y pulsos de DP) para que sean suministradas al instrumento de diagnóstico a evaluar (33),
- dos lazos de corriente separados galvánicamente (46) y (47) que atraviesan el núcleo del transformador, dispuesto en el interior de un dispositivo mezclador, y
- 10 - una caja envolvente coaxial de material no ferromagnético dividida en una envolvente superior (48) y una envolvente inferior (49) enchufables entre sí; comprendiendo la envolvente superior cuatro conectores (50) para inyectar por su tubo central el ruido eléctrico a mezcla1· con los pulsos de DP.

15 Mientras que el módulo de generación de tensión (19) AC o DC regulable comprende preferentemente (no se representan estos elementos por ser conocida esta configuración):

- un autotransformador, con el que se regula la tensión en AC,
- un transformador elevador de tensión con una potencia nominal de unos pocos cientos de VA (p.e. 500 VA),
- 20 - un circuito rectificador de DC de unos pocos de kV (p.e. 18 kV), y
- un filtro de bloqueo para evitar que las DP se fuguen por la fuente de alimentación y viceversa, que las posibles DP generadas por la fuente de AT afecten al generador de referencia.

25 Descrita suficientemente la naturaleza de la invención, así como la manera de realizarse en la práctica, debe hacerse constar que las disposiciones anteriormente indicadas y representadas en los dibujos adjuntos son susceptibles de modificaciones de detalle en cuanto no alteren el principio fundamental.

30 **Agradecimientos**

El desarrollo técnico que ha conducido a esta solicitud ha recibido financiación del programa EMPIR cofinanciado por los Estados participantes y del programa de investigación e innovación de la Unión Europea Horizonte 2020.

35

REIVINDICACIONES

1. Método para la evaluación y calificación de las características funcionales de instrumentos de medida y diagnóstico de DP que comprende las siguientes etapas:

- 5 - generación (1) a partir de una instalación (100) de ensayo de AT a escala de, al menos, una serie de ensayo de pulsos de referencia de DP característica de un tipo de defecto eléctrico representativo de las redes de AT,
- generación de, al menos, una señal analógica de ruido eléctrico a partir de una señal digital de ruido eléctrico,
- 10 - superposición (14) mediante acoplamiento electromagnético con separación galvánica, de una o varias de las series de pulsos de referencia de DP generadas correspondientes a una característica funcional concreta del instrumento de medida y diagnóstico para valores discretos de carga y de la señal o señales de ruido eléctrico generadas, y
- 15 - evaluación y calificación (15) de dicha característica funcional del instrumento de medida y diagnóstico mediante suministro al mismo de la superposición de señales para obtener la lectura y resultado de diagnóstico de dicho instrumento y comparar con los valores esperados; **caracterizado porque** la etapa de generación de, al menos, una señal de ruido eléctrico comprende:
 - 20 - una primera subetapa (9) de generación de una señal primaria de ruido digital a través de un generador arbitrario de funciones (9a) o de una base de datos de ficheros digitales de ruido (9b),
 - una segunda subetapa (11) de preparación de los datos en amplitud y escalado de la señal primaria de ruido digital, en la proporción que corresponda durante el mismo periodo que la serie de ensayo de pulsos de DP, obteniendo una señal digital preparada,
 - 25 - una tercera subetapa (12) de conversión de la señal de ruido digital preparada a ruido analógico en continuo (12) durante el mismo periodo de tiempo que el de la serie de ensayo de pulsos de DP, mediante la utilización de un convertidor D/A adicional,
 - 30 - la medida (13) de la señal de ruido mediante un instrumento de referencia, y en caso que la amplitud medida no corresponda con la de la prueba de evaluación y calificación se procede a la realimentación reajustando el escalado de la señal digital preparada.

35 2. Método para la evaluación y calificación de las características funcionales de instrumentos de medida y diagnóstico de DP según reivindicación 1 **caracterizado porque** las series de pulsos de referencia de descarga parcial son producidas en celdas enchufables e independientes (25) de la instalación de ensayo, que contienen cada una de ellas un solo defecto tipo.

45 3. Método para la evaluación y calificación de las características funcionales de instrumentos de medida y diagnóstico de DP según cualquiera de las reivindicaciones anteriores **caracterizado porque** la etapa de generación (1) de series de pulsos de DP de referencia en la instalación de ensayo (100) de ensayo de AT comprende que las series de pulsos de DP de referencia generados en la instalación de ensayo (100) de AT puedan 10 registrarse o almacenarse digitalmente para reproducirlas en ausencia de la instalación de ensayo (100) mediante las siguientes subetapas:

- la digitalización en bruto (2) de cada serie de pulsos de DP de referencia generados por la instalación de ensayo (100), correspondiente a cada defecto,
- el almacenamiento (3) en un banco de datos de cada serie de pulsos digitalizada en bruto,
- 5 - el procesamiento (4) en tiempo real para almacenamiento (3) optimizado en memoria del banco de datos de cada serie de pulsos de DP correspondiente a cada defecto mediante la búsqueda, selección y registro en tiempo real de sólo las muestras digitales correspondientes a los pulsos de DP, quedando almacenadas en el banco de datos digital únicamente las muestras digitales correspondientes a los pulsos de DP junto con la información del instante de inicio de cada pulso de la serie respecto al instante cero de comienzo del ensayo, y
- 10 - la síntesis analógica (7) de unas series de pulsos artificiales de DP de interés para la evaluación y calificación de la característica funcional correspondiente a partir de las series digitalizadas y almacenadas en la etapa de almacenamiento (3); donde la búsqueda, selección y registro en tiempo real de las muestras digitales correspondientes a los pulsos de DP se realiza mediante:
 - identificación del instante de inicio de los pulsos en cada serie mediante filtro de DP basado en la transformada wavelet, y
 - 15 - grabación del pulso por un tiempo comprendido entre 1 y 2 μ s a partir de dicho instante; y donde la digitalización de las series de pulsos de DP se realiza con una definición temporal de 5 ns o 10 ns y una resolución vertical de 16 bits al menos.
- 20

4. Método para la evaluación y calificación de las características funcionales de instrumentos de medida y diagnóstico de DP según reivindicación 3 **caracterizado porque** la síntesis analógica (7) de las series de pulsos artificiales de DP grabadas digitalmente de interés para la evaluación y calificación de la característica funcional correspondiente comprende una etapa de preparación de datos (6) mediante el ajuste de su amplitud y la concatenación por repetición de series de pulsos de DP de referencia más cortas para completar una duración de serie más larga.

5. Método para la evaluación y calificación de las características funcionales de instrumentos de medida y diagnóstico de DP según cualquiera de las reivindicaciones anteriores **caracterizado porque** comprende sucesivas etapas de generación (1) de las series de pulsos de DP utilizadas incrementando su valor de carga en un porcentaje discreto respecto al límite del rango objeto de verificación (17), hasta alcanzar el valor extremo de la carga objeto de verificación para obtener la curva de la característica funcional (18) en función de la variable de ruido eléctrico.

6. Método para la evaluación y calificación de las características funcionales de instrumentos de medida y diagnóstico de DP según cualquiera de las reivindicaciones anteriores **caracterizado porque** si el resultado de la medida y diagnóstico del instrumento a evaluar frente a la característica funcional concreta ha sido desfavorable para un nivel de carga, se disminuye el nivel de la señal digital preparada de ruido en un porcentaje de la amplitud de los pulsos de DP de las series de pulsos aplicadas y se repite la prueba hasta que dicha evaluación sea favorable para obtener el umbral de la característica funcional buscada para diferentes niveles de carga.

7. Método para la evaluación y calificación de las características funcionales de instrumentos de medida y diagnóstico de DP según cualquiera de las reivindicaciones anteriores

caracterizado porque la evaluación y calificación de cada característica funcional concreta del instrumento de medida y diagnóstico comprende el uso de una o más series de pulsos de DP asociados a uno o más defectos tipo seleccionados entre los siguientes:

- 5 - cavidad interna en aislamiento sólido,
- defecto un cable a una distancia determinada del sensor,
- defecto en aislamiento superficial expuesto al aire ambiente,
- falso contacto,
- parte metálica a potencial flotante en aire,
- corona en aire,
- 10 - corona en aceite,
- defecto en aislamiento superficial en aceite,
- defecto en aislamiento superficial en SF6,
- corona en SF6,
- partículas flotantes en SF6.

15 8. Método para la evaluación y calificación de las características funcionales de instrumentos de medida y diagnóstico de DP según cualquiera de las reivindicaciones anteriores **donde** la señal de ruido (11) es generada por un generador arbitrario de funciones (9a) a partir de ruido matemático, ruido blanco, ruido rosa, o a partir de ficheros almacenados una base de datos de
20 ficheros digitales de ruido (9b) y correspondientes a ruidos captados en instalaciones de AT.

9. Método para la evaluación de las características funcionales de instrumentos de medida y diagnóstico de DP en función del ruido eléctrico según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **donde** las características funcionales a evaluar y calificar se encuentran
25 seleccionadas entre:

- sensibilidad de detección de un tipo de defecto frente al ruido,
- capacidad para asociar una fuente generadora de pulsos de DP con un tipo de defecto eléctrico, frente a condiciones de ruido eléctrico,
- capacidad de separar diferentes fuentes generadoras de DP medidas con un
30 solo sensor frente a condiciones de ruido eléctrico,
- capacidad de identificar de donde proceden los pulsos DP cuando son detectados por un solo sensor situado en la conexión a tierra frontera entre dos equipos, frente a condiciones de ruido eléctrico, y
- error de localización expresado en metros de una fuente de DP a lo largo de un
35 cable medido con uno o dos sensores de alta frecuencia, frente a condiciones de ruido eléctrico.

10. Instalación para generar series de pulsos de referencia de DP que comprende:
40 - un módulo de generación de tensión (18) AC o DC regulable para simular la fuente de generación de la red,

- un cable de alimentación (20) de características conocidas que se conecta con el módulo de generación de tensión (19),
- un módulo de cabina (21) (ver figura 3) conectado al cable de alimentación (20), que comprende Lin plato cie AT (42) aislado de una envolvente metálica por tres
45 aisladores (43) y un condensador (44), para simular la capacidad de los aislamientos respecto de la envolvente metálica de una instalación,
- un módulo de red eléctrica, que comprende un cable aislado de AT (22) para simular un cable de potencia de la red de transporte o distribución conectado al

módulo de cabina y un condensador (23), para simular la continuidad de las líneas aisladas de la red,

- 5 - un módulo de generación de series de pulsos de DP de referencia (24), que se encuentra conectado al plato de AT del módulo de cabina (21), y que comprende un conjunto de celdas enchufables (25) de defecto tipo conectadas todas ellas al plato de AT pero quedando libre cada una de sus masas,
- un primer módulo de medida de DP (26) dispuesto en el origen donde se producen,
- 10 - un segundo módulo de medida de DP (27) que incluye un primer medidor normativo (28) de la carga de los pulsos de las series mediante el método IEC 60270 y un segundo medidor (29) mediante un transformador de corriente de alta frecuencia
- un módulo de generación de señal: de ruido eléctrico (31),
- 15 - un módulo de superposición (32) de la señal de ruido eléctrico generada con las series de pulsos de DP de referencia generadas, para ser aplicada dicha superposición al instrumento de medida y diagnóstico (33);
- **caracterizada porque** el módulo de superposición (32) comprende:
 - 20 - una caja envolvente coaxial de material no ferromagnético dividida en una envolvente superior (48) y una envolvente inferior (49), enchufables entre sí, con cuatro conectores (50) situados en la envolvente superior para inyectar el ruido eléctrico a mezclar con las series de pulsos de DP de referencia,
 - dos lazos de corriente separados (46) y (47), los cuales atraviesan el núcleo del transformador de alta frecuencia (45) para acoplar electromagnéticamente, con separación galvánica, el ruido eléctrico a la serie de pulsos de DP.
 - 25 - un transformador de alta frecuencia (45) dispuesto en el interior del dispositivo mezclador, para que ambas señales acopladas (ruido y pulsos de DP) sean suministradas al instrumento de diagnóstico a evaluar (33).

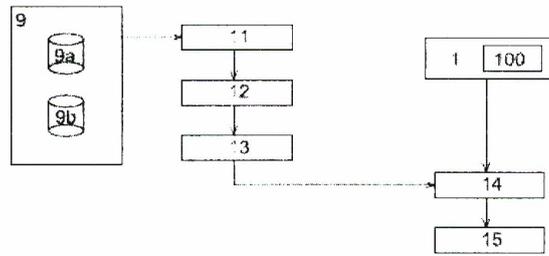


Fig 1.1

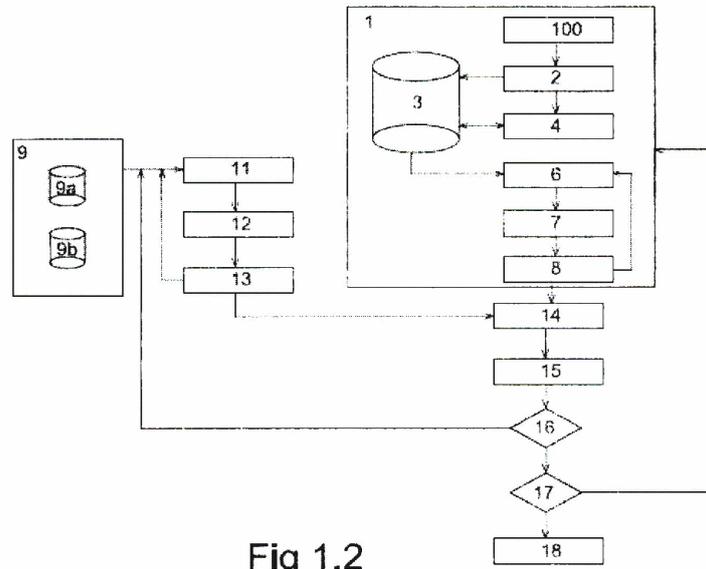


Fig 1.2

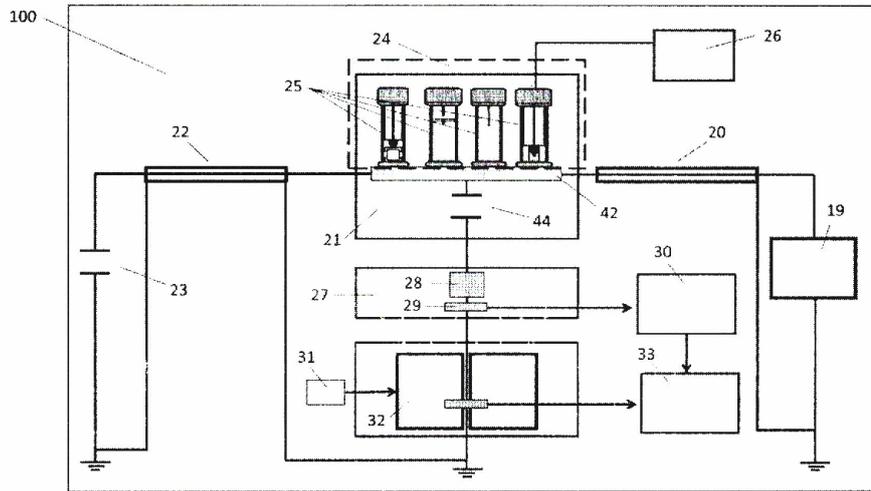


Fig 2

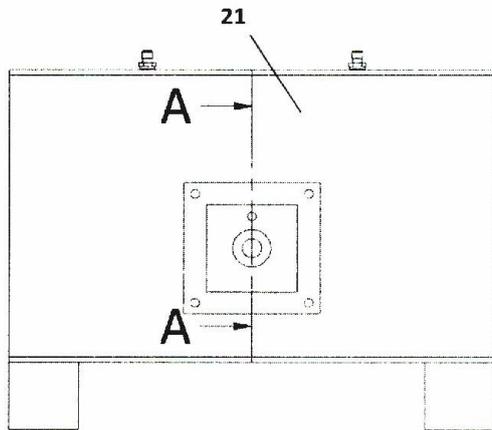


Fig 3a

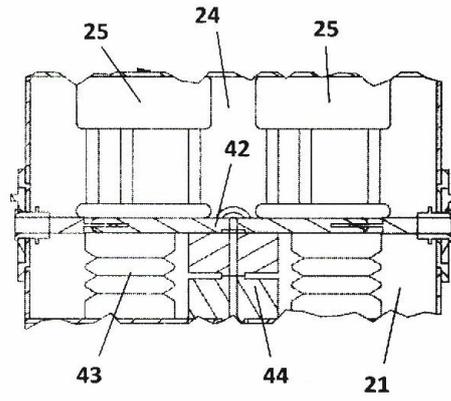


Fig 3b

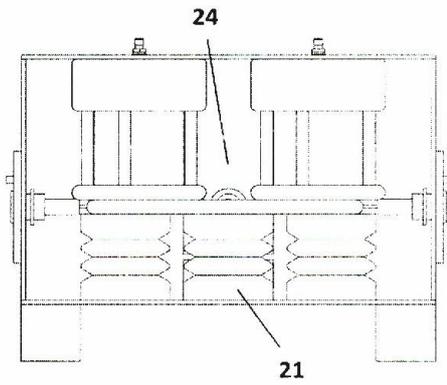


Fig 3c

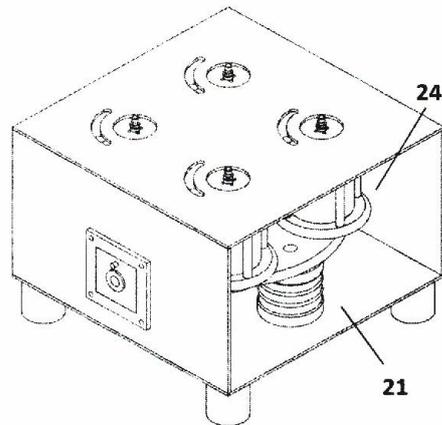


Fig 3d

Fig 3

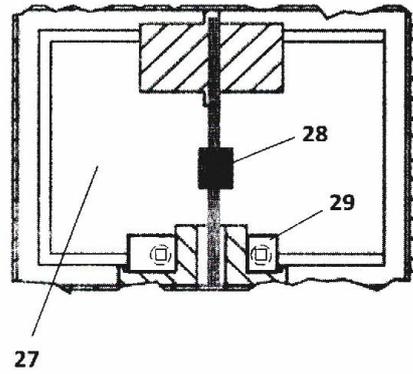
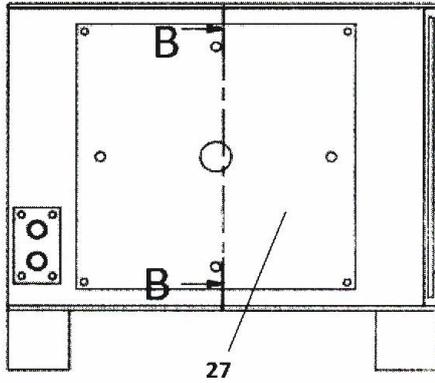


Fig 4a

Fig 4b

Fig 4

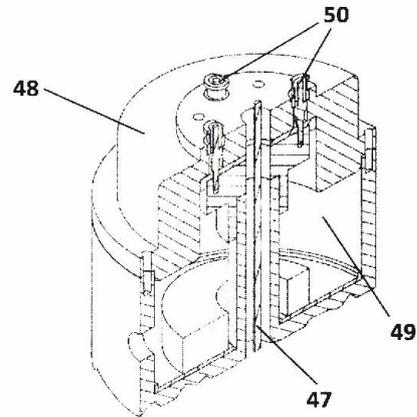
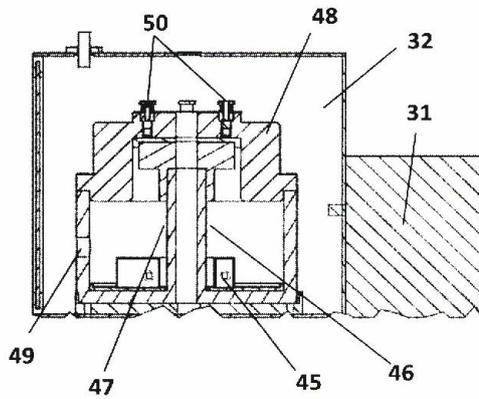


Fig 5a

Fig 5b

Fig 5

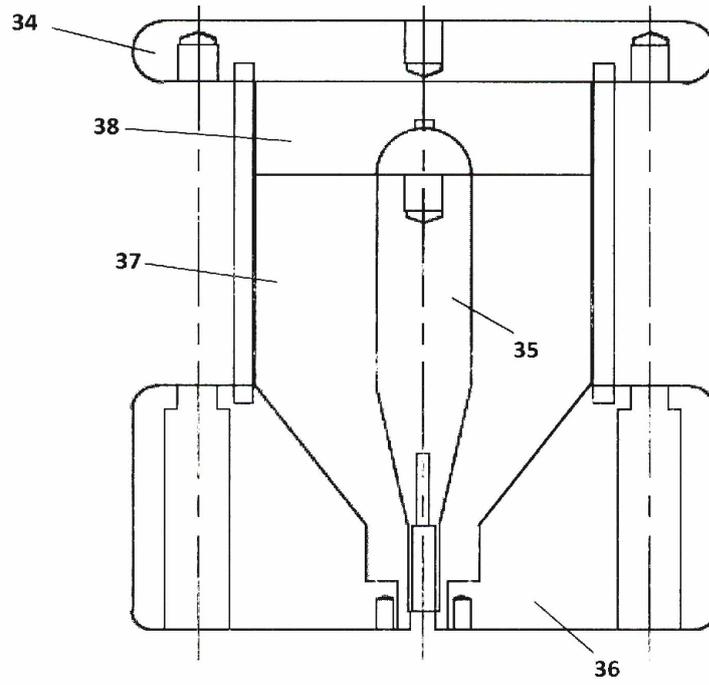


Fig 6

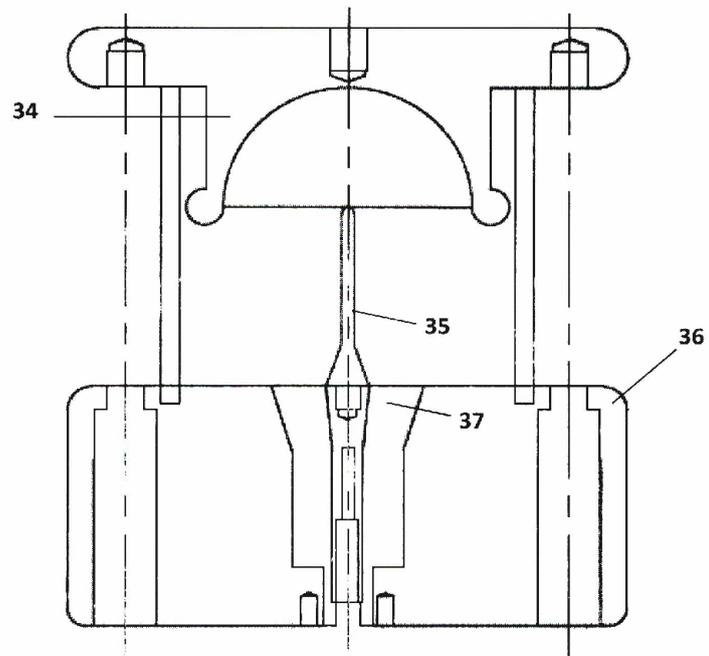


Fig 7

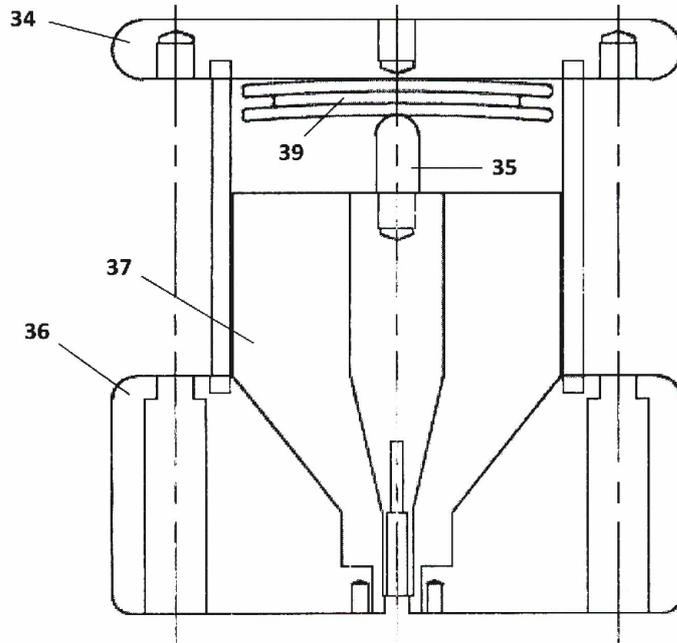


Fig 8

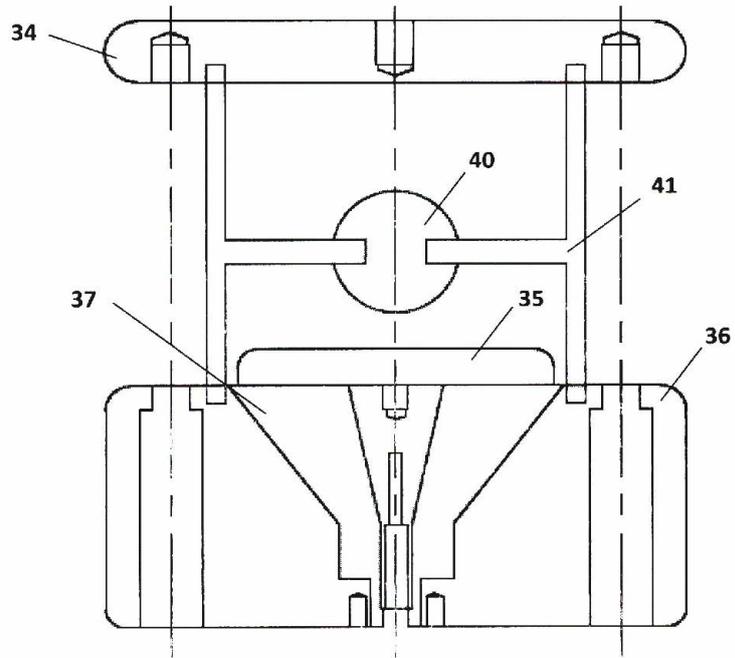


Fig 9