

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 688 620**

51 Int. Cl.:

G01R 31/00 (2006.01)

C07C 317/26 (2006.01)

C07C 245/12 (2006.01)

C07K 14/76 (2006.01)

G01K 7/42 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **05.02.2009 PCT/CA2009/000137**

87 Fecha y número de publicación internacional: **13.08.2009 WO09097684**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **05.02.2009 E 09707598 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **27.06.2018 EP 2240788**

54 Título: **Método y dispositivo para medir la temperatura del punto caliente en un aparato eléctrico que contiene aceite**

30 Prioridad:

06.02.2008 CA 2619920

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:

05.11.2018

73 Titular/es:

**HYDRO-QUÉBEC (100.0%)
1000 Rue Sherbrooke Ouest 16 eme étage
Montréal, QC H3A 3G4, CA**

72 Inventor/es:

**COUTURE, PIERRE y
DUVAL, MICHEL**

74 Agente/Representante:

ARIAS SANZ, Juan

ES 2 688 620 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Método y dispositivo para medir la temperatura del punto caliente en un aparato eléctrico que contiene aceite

Campo de la invención

5 La presente invención se refiere al campo de los aparatos eléctricos y más particularmente, pero no exclusivamente, al campo de los aparatos eléctricos que contienen un aceite, tales como un transformador de potencia.

La invención se refiere a un método y a un dispositivo para medir la temperatura del punto caliente en un aparato eléctrico que se hace funcionar en condiciones de funcionamiento predeterminadas y modificables. Este método permite asimismo verificar la calidad del aparato en cuestión puesto en el mercado y estima su vida útil.

Descripción de la técnica anterior

10 La variación de la temperatura en un aparato eléctrico que comprende un conjunto electromagnético en un recinto que comprende un aceite depende de varios factores. En primer lugar, esta variación se debe a la pérdida de calor I^2R en el interior de las bobinas de cobre del conjunto electromagnético (siendo I la carga de corriente enviada a las bobinas, o la intensidad, y R la resistencia de las bobinas), así como a las pérdidas en las piezas metálicas de hierro. Por tanto, la temperatura varía en función de la carga o de la intensidad de la corriente solicitada por el
15 aparato. En segundo lugar, la variación puede deberse al cierre de las entradas de aire y de los ventiladores del recinto. Finalmente, la temperatura en el interior del recinto para variar en función de las condiciones exteriores tales como la situación geográfica del aparato (en el interior de un edificio calentado o en el exterior) y las condiciones meteorológicas (temperatura exterior, viento, día / noche).

20 Sin embargo, la temperatura no es uniforme en el conjunto del recinto. El aceite presente en la parte superior del recinto del aparato está generalmente más caliente que en la parte inferior. Esto se debe a que el aceite se calienta al pasar a través de las bobinas y a continuación sube hacia la parte superior del recinto bajo el efecto de las fuerzas naturales de convección.

25 El punto caliente ("hot-spot" en inglés) es el lugar en el recinto que alcanza la temperatura más caliente durante el uso del transformador. Esta temperatura no debe sobrepasar un valor máximo comprendido entre aproximadamente 130°C y 160°C para evitar la formación de burbujas de gas en el aceite y/o el envejecimiento prematuro del papel usado como aislante. Este valor máximo depende del tipo de papel usado y de su tasa de humedad.

30 El punto caliente en el interior del recinto se encuentra generalmente y de manera aproximada en los dos tercios superiores del recinto del conjunto electromagnético y en un tercio en el interior de las bobinas, pero su ubicación exacta y su magnitud pueden cambiar considerablemente de un aparato a otro dependiendo del diseño adoptado por el fabricante, sobre todo en condiciones de sobrecarga (es decir, por encima de la carga nominal).

35 Mediante la ayuda de software y de un conocimiento de determinados parámetros de uso tales como la corriente, la temperatura del aceite en la parte superior y en la parte inferior del recinto, la temperatura media del cobre usado para las bobinas, la temperatura externa y otros, puede calcularse la temperatura aproximada del punto caliente. Pero este cálculo es a menudo poco preciso y poco fiable, en particular para los transformadores cuyo diseño detallado no se conoce bien. Por tanto, la "temperatura calculada" del punto caliente puede ser significativamente diferente de la "temperatura real" del punto caliente para determinados tipos de aparatos o condiciones de uso.

Actualmente, se usan las siguientes otras técnicas para determinar la temperatura real del punto caliente:

- 1) uso de un termopar que conlleva problemas de unión galvánica;
- 40 2) uso de fibras ópticas que conlleva problemas de localización del punto caliente y de comportamiento dieléctrico; y
- 3) uso de un marcador químico dispersado en el aceite que forma burbujas de gas a partir de una temperatura dada.

45 Una de las limitaciones principales del uso de las técnicas 1) y 2) mencionadas anteriormente reside en que la ubicación del punto caliente debe conocerse por adelantado y en la posibilidad de que un punto caliente no se detecte si se encuentra en una posición inesperada. Otra desventaja reside en que estas técnicas implican el uso de sondas de medición y que la instalación de las sondas en cuestión debe realizarse durante la fabricación del transformador o durante una renovación importante del mismo. Las sondas en cuestión también pueden afectar a las propiedades de comportamiento dieléctrico del transformador. En la patente estadounidense n.º US 4.140.999 se describe un ejemplo de sonda de medición.

50 El uso de un marcador químico mencionado anteriormente en el punto 3) se describe en la publicación científica de M. DUVAL *et al.*, en IEEE Transactions on Electrical Insulation, Vol. EI-17, n.º 5, octubre de 1982.

M. DUVAL *et al.* describen el uso en un transformador de potencia de marcadores químicos que comprenden

agentes de inflamamiento orgánicos tales como 2,2'-azobis(iso-butironitrilo), azobisciclohexano, p-tolueno-sulfonil-hidracida, 4,4'-oxibis(benceno)-sulfonil-hidracida o difenil-sulfona-3,3'-disulfohidracida.

5 Esta técnica se ha desarrollado principalmente como herramienta de investigación para evaluar la temperatura real de los puntos calientes en comparación con la proporcionada por los software de cálculo. Pero es poco práctica de poner en práctica en transformadores en servicio. En efecto, tal como se representa en la figura 1 procedente de la técnica anterior (véase la figura 4 del documento de M. Duval *et al.* mencionado anteriormente), el transformador (1) debe estar provisto de una columna de medición (3) instalada entre el depósito de seguridad (5) y el núcleo del transformador (7), para poder tomar muestras del gas formado en el aceite por los marcadores químicos y medir la cantidad producida para evaluar el punto caliente. Además, y esto es sin duda su principal defecto, los marcadores químicos usados se dispersan en forma de polvo fino en el aceite. Si no se retiran rápidamente por filtración después de los ensayos de calentamiento, pueden, con el tiempo, depositarse en las partes aislantes del transformador y afectar a sus propiedades de comportamiento dieléctrico.

15 Independientemente de los defectos anómalos de funcionamiento, tales como la formación de arcos y de descargas de corona eléctrica, el aumento de la temperatura es uno de los factores que contribuyen a la reducción de la vida útil de un transformador ya que este aumento acelera el envejecimiento del papel aislante.

Se necesita un conocimiento de la temperatura real del punto caliente para usar el transformador lo más cerca posible de sus límites al tiempo que se mantiene seguro. Además, permite identificar transformadores no conformes, y estimar aproximadamente su vida útil.

Sumario de la invención

20 La presente invención se refiere a un método para establecer la temperatura T_{PC}^* del punto caliente de un aceite contenido en un aparato eléctrico, según diferentes condiciones de funcionamiento del aparato. El método comprende:

25 a) hacer funcionar el aparato eléctrico según al menos una condición de funcionamiento predeterminada de manera que se aumenta la temperatura del aceite T_H , estando el método caracterizado porque, en la etapa a), se aumenta la temperatura del aceite T_H hasta que alcanza un equilibrio, comprendiendo el aceite al menos un compuesto químico soluble en el aceite, formando cada compuesto un residuo soluble en el aceite a una temperatura de formación del residuo T_R ;

y porque comprende además las siguiente etapas:

30 b) realizar al menos una toma de una muestra de aceite después de la etapa a) al tiempo que se mide la temperatura del aceite T_H ;

c) realizar un análisis de la muestra tomada en la etapa b) para determinar si el residuo está presente o no;

d) a partir del análisis de la etapa c), estimar la temperatura del punto caliente en la condición de funcionamiento predeterminada T_{PC} que ha permitido una aparición en la muestra de dicho al menos un residuo, como que es igual a la temperatura de formación de dicho al menos un residuo T_R ;

35 e) calcular la diferencia ΔT entre la temperatura del punto caliente T_{PC} y la temperatura del aceite T_H en la condición de funcionamiento predeterminada;

f) establecer que la temperatura T_{PC}^* según cualquier otra condición de funcionamiento del aparato se obtiene según la siguiente ecuación: $T_{PC}^* = T_H^* + \Delta T$, siendo T_H^* la temperatura del aceite en dicha otra condición de funcionamiento.

40 Según un primer aspecto preferido de la invención, el método se realiza usando un único compuesto químico y en condiciones de equilibrio de temperatura. Más particularmente:

- la etapa a) se realiza usando un único compuesto químico soluble en el aceite;

- la etapa b) se realiza después de la etapa a);

- tras la etapa c), la etapa d) se realiza de la siguiente manera:

45 si el residuo está presente

d1) se elimina el residuo presente en el aceite,

d2) se hace funcionar el aparato según una nueva condición de funcionamiento de manera que se reduce la temperatura T_H del aceite alcanzada en equilibrio; y

d3) se repiten las etapas b), c), d1) y d2) hasta que ya no haya residuos presentes en la muestra tomada en la

etapa c),

si el residuo está ausente:

d4) se repiten las etapas a), b) y c) hasta que el residuo esté presente en la muestra;

y se establecen las condiciones de funcionamiento en las que la temperatura del punto caliente T_{PC} es igual a la temperatura de transición del residuo T_R .

Se describe que el método puede realizarse usando un único compuesto químico y fuera de equilibrio de temperaturas. Más particularmente:

- la etapa a) se realiza usando un único compuesto químico soluble en el aceite;
- la etapa b) se realiza durante la etapa a) tomando en momentos diferentes al menos dos muestras de aceite al tiempo que se mide la temperatura del aceite T_H ,
- la etapa c) se realiza para cada una de las muestras tomadas en la etapa b) para determinar la concentración de residuo presente en el aceite;
- la etapa d) se realiza determinando por extrapolación, basándose en las concentraciones determinadas en la etapa c), un tiempo t_0 a partir del cual ha empezado a formarse el residuo, siendo la temperatura del punto caliente T_{PC} en el tiempo t_0 igual a la temperatura de formación del residuo T_R .

Según otro aspecto preferido de la invención, el método se realiza usando al menos dos compuestos químicos en condiciones de equilibrio de temperatura. Más particularmente:

- la etapa a) se realiza usando al menos dos compuestos químicos diferentes y solubles en el aceite que forman cada uno un residuo soluble en el aceite a una temperatura de formación del residuo T_R , siendo las temperaturas T_R para cada residuo diferentes unas de otras;
- la etapa b) se realiza después de la etapa a);
- la etapa d) se realiza de la siguiente manera:

si ningún residuo está presente:

d1) se repiten las etapas a) a c) hasta la aparición de al menos uno de los residuos solubles en las muestras tomadas;

si todos los residuos están presentes:

d2) se eliminan los residuos presentes en aceite; y

d3) se repiten las etapas a) a c) hasta la desaparición de al menos uno de los residuos solubles en las muestras tomadas;

se establecen las condiciones de funcionamiento en las que la temperatura del punto caliente T_{PCest} está comprendida entre la temperatura T_{R1} de formación del residuo del compuesto químico que ha producido el residuo y la temperatura T_{R2} de formación del residuo del compuesto químico que no ha producido ningún residuo;

- y en la etapa e), se calcula ΔT como que es igual a $T_{PCest} - T_H$, siendo T_H la temperatura del aceite alcanzada en equilibrio medida durante la última iteración de la etapa a).

La presente invención también se refiere a un dispositivo para establecer la temperatura T_{PC}^* del punto caliente de un aceite contenido en un aparato eléctrico, según diferentes condiciones de funcionamiento del aparato, comprendiendo el aceite al menos un compuesto químico soluble en el aceite, formando cada compuesto un residuo soluble en el aceite a una temperatura de formación del residuo T_R . El dispositivo comprende:

medios para realizar un análisis de una muestra de aceite para determinar al menos si el residuo está presente;

medios para estimar la temperatura del punto caliente en una condición de funcionamiento predeterminada T_{PC} que ha permitido una aparición en la muestra de dicho al menos un residuo, como que es igual a la temperatura de formación de dicho al menos un residuo T_R ;

medios para medir la temperatura del aceite T_H ,

medios para calcular una diferencia ΔT entre la temperatura del punto caliente T_{PC} y la temperatura del aceite T_H cuando ha alcanzado un equilibrio en la condición de funcionamiento predeterminada; y

medios para establecer la temperatura del punto caliente del aparato en cualquier otra condición de funcionamiento T_{PC}^* , según la siguiente ecuación: $T_{PC}^* = T_H^* + \Delta T$, siendo T_H^* la temperatura del aceite en dicha otra condición de funcionamiento.

5 Por tanto, la presente invención propone un nuevo método diferente de la técnica anterior porque se basa, entre otras cosas, en el uso de marcadores químicos solubles en el aceite del transformador, que no forman burbujas en el aceite y que comprenden moléculas que presentan al menos una propiedad que varía con la temperatura.

Preferiblemente, el aparato eléctrico es un transformador de potencia eléctrica. Sin embargo, es importante mencionar que la presente invención no se aplica solamente a los transformadores sino a cualquier otro aparato que comprenda un conjunto electromagnético colocado en el interior de un recinto que comprende un baño de aceite.

10 La invención y sus ventajas se desprenderán mejor a partir de la siguiente descripción, haciendo referencia a los dibujos adjuntos.

Breve descripción de los dibujos

La figura 1 es una representación esquemática de un transformador de aceite que comprende el dispositivo según un modo preferido de la invención.

15 La figura 2 es un esquema que representa un ejemplo de evolución de la temperatura del punto caliente en función del tiempo de funcionamiento del transformador, así como ejemplos de temperatura de transición de marcadores químicos denominados A, B, C, D, E, F y G.

20 La figura 3 es un gráfico que representa los resultados obtenidos para el ejemplo 3, que muestra la medida del punto caliente, y la evolución en función del tiempo de las temperaturas en el interior del aparato y de la concentración de gases disueltos en el aceite.

Descripción de elementos preferidos de la invención

25 Según un modo preferido de la invención, la presente invención tiene por objeto un método para estimar la temperatura real de un punto caliente en el interior de un aparato eléctrico. Este método se realiza gracias a la introducción de un compuesto químico en el aceite del aparato. Este compuesto se denomina a continuación "marcador químico" o simplemente "marcador".

Por tanto, la invención también se refiere a un dispositivo para establecer la temperatura T_{PC}^* del punto caliente de un aceite contenido en un aparato eléctrico, según una condición de funcionamiento dada del aparato, comprendiendo el aceite al menos un compuesto químico soluble en el aceite, formando cada compuesto un residuo soluble en el aceite a una temperatura de formación del residuo T_R .

30 El dispositivo comprende medios para realizar un análisis de una muestra de aceite para determinar al menos si el residuo está presente. Preferiblemente estos medios usan la colorimetría, el análisis de gases disueltos, la espectrometría de masas, la resonancia magnética nuclear, la cromatografía en fase gaseosa o líquida, la espectrometría infrarroja, la espectrometría ultravioleta o la fluorescencia X.

35 El dispositivo también comprende medios para medir la temperatura del aceite T_H . Preferiblemente, estos medios comprenden un termómetro, un termopar, una sonda de medición de temperatura o cualquier otro medio conocido por el experto en la técnica para medir una temperatura.

El dispositivo comprende además:

40 medios para estimar la temperatura del punto caliente en una condición de funcionamiento predeterminada T_{PC} que ha permitido una aparición en la muestra de dicho al menos un residuo, como que es igual a la temperatura de formación de dicho al menos un residuo T_R ;

medios para calcular una diferencia ΔT entre la temperatura del punto caliente T_{PC} y la temperatura del aceite T_H de funcionamiento predeterminada; y

medios para establecer la temperatura del punto caliente del aparato según la condición de funcionamiento dada T_{PC}^* , según la siguiente ecuación: $T_{PC}^* = T_H^* + \Delta T$, siendo T_H^* la temperatura del aceite en la condición dada.

45 Preferiblemente, estos medios para realizar el análisis, estimar, calcular y establecer la temperatura del punto caliente T_{PC}^* pueden realizarse por un ordenador provisto de un software y conectado a un teclado y una pantalla.

La figura 1 ilustra de manera esquemática un aparato eléctrico (1) que comprende el dispositivo según la invención.

El aparato (1) comprende un recinto (3) que comprende en su interior un conjunto electromagnético formado por un núcleo (5) y bobinas (7).

El aparato también puede estar provisto de un sistema de ventilación (9) que permite regular la temperatura interna del aparato.

El recinto, o cuba (3) se rellena con un aceite (11), tal como un aceite mineral.

5 El aparato también está provisto de una sonda (13) de medición de temperatura que permite una lectura constante de la temperatura del aceite.

La parte inferior de la cuba (3) también está provista de un sistema de apertura (15), que permite recoger una muestra de aceite o purgar el aparato de su aceite.

El aparato (1) también puede comprender otra sonda (17) que permite detectar de manera continua la presencia en el aceite de compuestos químicos.

10 Las diferentes sondas (13, 17) pueden estar conectadas a un ordenador (19) para registrar los datos medidos y realizar los cálculos que permiten la determinación del punto caliente.

Según diversos modos preferidos de la invención, el método comprende una serie de etapas que hay que realizar para determinar la temperatura del punto caliente de un transformador en una condición de funcionamiento dada. El transformador puede ser nuevo o usado.

15 Etapas a):

La etapa a) del método según la invención consiste en hacer funcionar el aparato eléctrico según al menos una condición de funcionamiento predeterminada de manera que se aumenta la temperatura del aceite T_H .

El aceite comprende al menos un compuesto químico soluble en el aceite que se elige para formar un residuo soluble en el aceite a una temperatura de formación del residuo T_R .

20 Por "hacer funcionar el aparato eléctrico" debe entenderse que el operario, de manera general, aplicará una carga de corriente de manera que se aumenta o se reduce la temperatura en el interior del aparato. La velocidad de aumento de la temperatura se expresa generalmente en °C por minuto o por hora.

25 El operario podrá asimismo realizar otras operaciones tales como aplicar una circulación forzada o no de aceite, enfriar o no el aceite mediante el uso de radiadores. Estas operaciones se establecen como que son una o varias "condiciones predeterminadas".

En la figura 2 se ilustra un ejemplo de aumento de temperatura del aceite en función del tiempo.

30 La figura 2 también puede representar una curva de evolución de la temperatura calculada del punto caliente en función del tiempo de funcionamiento, tal como se obtiene gracias a software de cálculo que tienen en cuenta los parámetros intrínsecos del transformador estudiado (tamaño, capacidad en kVA o MVA, circulación forzada o no de aceite, etc.) o externos (temperatura exterior, velocidad del viento, etc.). La curva de evolución de la temperatura real del punto caliente puede estar por encima o por debajo de la de la temperatura calculada.

Por "condiciones de funcionamiento" se entiende cualquier acción o cualquier elemento exterior que conlleva una variación (aumento o reducción) de la temperatura en el recinto del aparato.

35 Las condiciones de funcionamiento que pueden predeterminarse y controlarse por el operario comprenden preferiblemente el valor de la carga eléctrica o de la intensidad de la corriente solicitada por el aparato. Tal como se mencionó anteriormente, la variación de temperatura se debe principalmente a la pérdida de calor IR^2 (I = intensidad de corriente, R = resistencia de las bobinas) en el interior de las bobinas de cobre.

40 Las condiciones de funcionamiento comprenden asimismo el grado de apertura de las entradas de aire y la velocidad de los ventiladores que permiten la ventilación del interior del recinto. Se entenderá que cuanto más lenta es la velocidad de los ventiladores, o cuanto menor es la apertura de las entradas de aire, más lentamente baja o aumenta la temperatura interna, y viceversa.

45 Las condiciones de funcionamiento que hay que determinar también comprenden factores externos que no son forzosamente controlables por el operario tales como la posición geográfica (exterior o interior de un edificio calentado) y las condiciones meteorológicas cuando el aparato está en el exterior (temperatura exterior, velocidad y dirección del viento, presencia de luz (día / noche)).

En la etapa a), la presente invención puede ponerse en práctica con uno, dos o varios compuestos químicos, o marcadores, de diferente naturaleza.

Para poder seleccionarse, este marcador debe presentar un determinado número de propiedades físicas y/o químicas bien conocidas por el operario.

50 El marcador debe tener una temperatura de reacción o de transición conocida a la que va a transformarse por

reacción química o por un cambio de estado, para convertirse en lo que se denominará a continuación “un residuo del marcador químico”, o simplemente “un residuo”. El residuo también debe ser soluble en el aceite.

La temperatura de reacción o de transición del marcador debe ser inferior a la temperatura máxima aceptable en el interior del transformador.

5 Se entiende que la “temperatura máxima aceptable” es la temperatura a la cual el transformador no se verá dañado, y en particular el papel usado como aislante. Esta temperatura está generalmente comprendida entre 130 y 160°C según la naturaleza del papel usado en el transformador y su humedad en servicio. El marcador usado comprende moléculas solubles en el aceite.

10 De manera más preferida, el marcador puede ser un compuesto que, a una temperatura dada, forma un gas soluble en el aceite.

15 Un primer ejemplo de estos compuestos son moléculas diazoicas que forman por descomposición nitrógeno (N₂) soluble en el aceite, tales como difenilsulfona-3,3'-disulfohidracina o 4,4'-oxibis(bencenosulfonyl)hidracina químicamente modificadas. La modificación química consiste en injertar en la molécula otra molécula hidrófoba, tal como una cadena hidrocarbonada larga, preferiblemente que tiene de 12 a 18 átomos de carbono. La presencia de este segmento hidrófobo en la molécula diazoica hace que sea perfectamente soluble en el aceite.

20 En este caso, siendo el residuo nitrógeno soluble en el aceite, puede realizarse una etapa preliminar, pero opcional, del método según la invención que consiste en librar al aceite de una parte de su aire, y por tanto del nitrógeno contenido en este aire, para mejorar la disolución del residuo gaseoso en el aceite. La presencia de nitrógeno del aire disuelto en el aceite falsearía la determinación de la concentración de nitrógeno procedente de la transformación del marcador en residuo.

También pueden usarse otras moléculas solubles en el aceite y que liberan gases solubles en el aceite, como el monóxido de carbono o el amoníaco. Por ejemplo, los carbonilos de metales, que presentan al menos una cadena lateral hidrocarbonada lo bastante larga como para hacer que sean solubles en el aceite permiten la producción de monóxido de carbono soluble en el aceite.

25 El compuesto o marcador químico también puede ser una molécula que cambia de color de manera irreversible a una temperatura dada, tal como colorantes o pigmentos.

El marcador químico también puede ser un compuesto o una molécula que cambia de fase de manera irreversible a una temperatura dada, tal como cristales líquidos.

30 El marcador químico también puede ser un compuesto o una molécula que cambia de estructura química de manera irreversible a una temperatura dada, tal como albuminas.

El aspecto inventivo de la invención descrita en la presente solicitud no se limita a los marcadores químicos descritos anteriormente.

35 Preferiblemente, puede introducirse una cantidad adecuada de compuesto(s) químico(s) en el aceite en el momento de la fabricación del aparato, o antes de la aplicación del método según la invención. Evidentemente, debe entenderse que esta “cantidad adecuada” depende de los siguientes factores:

- el volumen de aceite presente en el aparato;
- la calidad del aceite usado (mineral o no mineral);
- la naturaleza del o de los marcadores usados;
- la cantidad de residuo que puede formarse, y
- 40 - la técnica de análisis disponible y usada en la etapa c) a continuación.

45 La cantidad de cada marcador usado puede expresarse en concentración en masa o molar. Preferiblemente para cada marcador, esta concentración corresponde a su masa contenida en una masa conocida de aceite y se expresa por tanto como concentración en masa o porcentaje de masa. Una concentración final de aproximadamente el 0,01% al 0,1% en peso de compuestos químicos en el aceite, según el tipo de marcador usado, es típica para la aplicación del método según la invención.

Etapa b):

La etapa b) del método consiste en realizar al menos una toma de una muestra de aceite durante o después de la etapa a) al tiempo que se mide la temperatura del aceite T_H.

50 Pueden usarse los métodos habituales de toma de muestras de aceite en los transformadores (jeringas, botellas o tubos). También pueden usarse aparatos que permiten medir de manera continua el residuo de cada marcador

químico sin tener que tomar muestras de aceite, tales como por ejemplo sondas para los gases disueltos o colorímetros.

- 5 Tal como ya se ha indicado, la temperatura del aceite en la cuba del aparato eléctrico no es uniforme por razones de flujo de convección. Por tanto, durante la aplicación del método, la medición de la temperatura del aceite T_H debe realizarse preferiblemente en el mismo lugar de la cuba. Sin embargo, la medición de T_H puede realizarse en cualquier lugar en la cuba, pero por razones prácticas, se realizará preferiblemente en la parte superior de la cuba. Puede usarse un termómetro, una sonda o cualquier otro medio para medir una temperatura conocida, para medir T_H .

Etapa c):

- 10 La etapa c) del método consiste en realizar un análisis de la muestra tomada en la etapa b) para determinar si el residuo está presente.

Según uno de los métodos preferidos de la invención, el análisis consiste en medir la concentración del o de los residuos. Es evidente que una concentración no detectable de un residuo equivale a la ausencia del residuo en la muestra.

- 15 Todas las técnicas de análisis conocidas por el experto en la técnica y que permiten determinar la presencia de un compuesto químico así como su concentración pueden usarse en la aplicación del método según la presente invención.

La técnica usada depende del compuesto químico elegido en la etapa a) del método.

- 20 Determinadas técnicas pueden emplearse directamente sobre el terreno durante la toma de muestras, tales como la colorimetría o el análisis de los gases disueltos (AGD) *in situ*. El AGD es una técnica bien conocida por el experto en la técnica.

Otras técnicas, que necesitan equipos más complejos, pueden usarse en laboratorios, tales como por ejemplo la espectrometría de masas (EM), la resonancia magnética nuclear (RMN), la cromatografía en fase gaseosa o líquida (GC, LC o PHC), la espectrometría infrarroja (IR) o ultravioleta (UV), o la fluorescencia X.

- 25 Las técnicas que pueden usarse no se limitan a los ejemplos mencionados anteriormente.

Etapa d):

A partir del análisis de la etapa c), la etapa d) consiste en estimar si la temperatura del punto caliente es igual, superior o inferior a la temperatura de formación del o de los residuos T_R .

- 30 En el caso en el que el o los residuos esperados están ausentes del aceite, el operario deduce de ello que la temperatura real del punto caliente es inferior a la temperatura de transición del o de los marcadores usados. En consecuencia, el operario puede volver a iniciar el método desde la etapa a).

En el caso en el que un residuo está presente, el operario deduce de ello que la temperatura del punto caliente es al menos igual a la temperatura de transición del marcador químico, y esto siguiendo los diferentes modos preferidos detallados a continuación.

- 35 Caso en el que se usa un único marcador en equilibrio:

En este modo de funcionamiento, se usa un único marcador, se espera a que se alcance un equilibrio de la temperatura T_H del aceite procedente de la etapa a) (véase la figura 2), y se realiza el análisis descrito en la etapa c) para determinar si el residuo está presente o ausente.

Si el residuo está presente, entonces puede realizarse la etapa d) de la siguiente manera:

- 40 d1) se elimina el residuo presente en el aceite,
 d2) se hace funcionar el aparato según una nueva condición de funcionamiento de manera que se reduce la temperatura T_H del aceite alcanzada en equilibrio (véase la figura 2); y
 d3) se repiten las etapas b), c), d1) y d2) definidas anteriormente, hasta que ya no haya residuos presentes en la muestra tomada en la etapa c).

- 45 En el caso en el que el o los residuos están en forma de gases disueltos en el aceite, la etapa d1) consistirá en desgasificar el aceite.

Si el residuo está ausente:

- d4) se hace funcionar el aparato según una nueva condición de funcionamiento de manera que se aumenta la

temperatura T_H del aceite alcanzada en equilibrio; y

d5) se repiten las etapas a), b) y c) hasta que esté presente residuo en la muestra tomada en la etapa c).

En los dos casos, se establecen las condiciones de funcionamiento en las que la temperatura del punto caliente T_{PC} es igual a la temperatura de transición del residuo T_R .

5 Caso en el que se usa un único marcador fuera de equilibrio:

En este modo de funcionamiento, se usa un único marcador, pero se miden las concentraciones de residuo durante la subida de temperatura de la figura 2, y no cuando se alcanza el equilibrio de temperatura. A continuación se determina por extrapolación un tiempo t_0 a partir del cual ha empezado a formarse el residuo, siendo entonces la temperatura del punto caliente T_{PC} en el tiempo t_0 igual a la temperatura de formación del residuo T_R .

10 Caso en el que se usan al menos dos marcadores en equilibrio:

En presencia de al menos dos marcadores, la etapa d) se realiza de la siguiente manera según los dos casos siguientes.

Si no está presente ningún residuo se repiten las etapas a) a c) hasta la aparición de al menos uno de los residuos solubles en las muestras tomadas.

15 Si todos los residuos están presentes, se eliminan los residuos presentes en aceite; y se realiza al menos una iteración de las etapas a) a c) hasta la desaparición de al menos uno de los residuos solubles en las muestras tomadas.

Se establecen las condiciones de funcionamiento en las que la temperatura del punto caliente T_{PCest} está comprendida entre la temperatura T_{R1} de formación del residuo del compuesto químico que ha producido el residuo y la temperatura T_{R2} de formación del residuo del compuesto químico que no ha producido ningún residuo.

20

Etapas e):

La etapa e) consiste en calcular la diferencia ΔT entre:

- la temperatura del punto caliente T_R obtenida en la etapa d), independientemente del modo de realización preferido elegido; y

25 - la temperatura del aceite T_H en la condición de funcionamiento predeterminada.

Etapas f):

Finalmente, la etapa f) consiste en establecer que la temperatura del punto caliente T_{PC}^* según cualquier otra condición de funcionamiento dada del aparato se obtiene según la siguiente ecuación:

$$T_{PC}^* = T_H^* + \Delta T,$$

30 siendo T_H^* la temperatura del aceite la condición dada.

Un vez medida la diferencia ΔT medida siguiendo las etapas a) a e) del método, el operario podrá deducir de ello la temperatura del punto caliente T_{PC} para cualquier otra condición de funcionamiento midiendo la temperatura del aceite T_H que corresponde a esta condición. El conocimiento del valor de T_{PC} permitirá al operario variar la temperatura del aceite sin temor a sobrepasar la temperatura límite permitida en el aceite del aparato, y por tanto sin temor a dañar el aparato, en la medida en que el punto caliente en estas condiciones será inferior a esta temperatura límite.

35

Ejemplos

Ejemplo 1 teórico de uso de un único marcador

El método según este otro modo preferido de la invención, es decir el uso en el aceite del transformador de un único marcador químico, también puede plantearse de la siguiente manera:

40

a) se selecciona el marcador;

b) se introduce la cantidad adecuada del marcador en el aceite del transformador;

c) se hace funcionar el transformador de manera que se alcanza una temperatura calculada del punto caliente en equilibrio ligeramente inferior a la temperatura de transición del marcador;

45 d) se extrae una muestra de aceite del transformador;

- e) se analiza para demostrar la ausencia del residuo;
- f) se hace funcionar de nuevo el transformador de manera que se alcanza una temperatura calculada del punto caliente en equilibrio ligeramente superior a la temperatura de transición del marcador;
- 5 g) se extrae una segunda muestra de aceite del transformador que se analiza para determinar la presencia o no del residuo; y
- h1) si el residuo está presente, se deduce de ello que se ha alcanzado la temperatura real del punto caliente;
- h2) si el residuo no está presente, se deduce de ello que aún no se ha alcanzado la temperatura real del punto caliente en equilibrio, y se hace funcionar el transformador de manera que se aumenta adicionalmente la temperatura del punto caliente, o
- 10 h3) si el residuo no se ha formado en cantidad suficiente para ser detectable a la temperatura de transición, y necesita sobrepasar esta temperatura de transición para ser detectable, o si se prefiere usar el marcador en modo dinámico, entonces:
- i) se hace funcionar el transformador de manera que se lleva la temperatura calculada del punto caliente de 15 a 30°C por encima de la temperatura de transición;
- 15 ii) se toman regularmente muestras de aceite para medir el aumento del contenido de residuo;
- iii) se determina por extrapolación en qué momento ha comenzado la reacción de transición, y por tanto la temperatura real del punto caliente en ese momento; y
- iv) de manera opcional, puede volverse a iniciar el método haciendo funcionar el transformador de manera óptima para obtener una mejor precisión en la medición del punto caliente.

20 Ejemplo 2 teórico de uso de varios marcadores:

El método comprende la adición a un aceite del transformador de al menos dos marcadores químicos que tienen cada uno una temperatura de transformación diferente de la temperatura de transformación del otro marcador químico elegido y comprendida entre la temperatura ambiente y la temperatura máxima aceptable en el interior del transformador.

25 El método comprende entonces las siguientes etapas:

- a) se seleccionan varios marcadores químicos diferentes;
- b) se introducen los marcadores químicos en el aceite;
- c) se hace funcionar el transformador durante un periodo de tiempo determinado para obtener la temperatura calculada del punto caliente deseado (por encima o por debajo de la temperatura de transición de los marcadores);
- 30 d) se extrae del transformador, durante el periodo de tiempo determinado, una muestra de aceite; y
- e) se analiza la muestra para determinar la presencia o no de uno o varios residuos.

35 A partir del análisis realizado en la etapa e) se deduce que la temperatura real del punto caliente está comprendida entre la temperatura de transición umbral de uno de los marcadores que ha producido un residuo y la temperatura de transición umbral de uno de los marcadores que no ha producido un residuo. Opcionalmente, vuelven a iniciarse las etapas c) a e) a temperaturas diferentes de manera que se reduce la incertidumbre de la medición.

40 Este aspecto de la invención también puede ilustrarse por la figura 2 que representa un ejemplo de evolución de la temperatura real o calculada del punto caliente en función del tiempo de funcionamiento del transformador, así como ejemplos de temperaturas de reacción de transición de varios marcadores químicos, denominados A, B, C, D, E, F y G.

Según el ejemplo ilustrado en la figura 2, en el que la curva representa la temperatura real del punto caliente, el análisis del aceite del transformador debe mostrar la presencia de residuos de los marcadores A, B, C, D, pero la ausencia de residuos para los marcadores E, F y G.

Este método permite realizar la medición directamente en un puesto sin interrumpir el uso del transformador.

45 El método según la invención puede comprender una etapa previa y opcional de desgasificación del aceite para permitir una disolución mejor y/o completa de los residuos procedentes de los marcadores, cuando dichos residuos son gases. Por ejemplo, cuando el residuo es el gas N₂, hay que retirar el aire disuelto en el aceite, ya que el aire contiene una cantidad bien conocida de gas N₂, la presencia de nitrógeno del aire disuelto en el aceite falsearía la

determinación de la concentración de nitrógeno procedente de la transformación del marcador en residuo.

Ejemplos 3 a 5:

5 Los tres ejemplos siguientes se realizaron en un mismo transformador Federal Pioneer® de 100 kilovoltio-amperios (KVA) y de 14,4 kV a 120 V, que contiene 35 galones de aceite mineral aislante Voltesso 35. Se aplicó una carga de corriente nominal durante 6 h para los ejemplos 1 y 3, y durante 8 h para el ejemplo 2.

La temperatura del aceite en la parte superior de la cuba del transformador al final de los ensayos era de 120°C y 135°C, respectivamente.

Ejemplo 3:

10 El marcador elegido es una molécula de difenilsulfona-3,3'-disulfohidracina químicamente modificada para hacer que sea soluble en el aceite mineral (molécula D). Para ello, se injerta en la molécula una cadena lateral de hidrocarburos saturados, que contiene 18 átomos de carbono. Tal molécula modificada está disponible comercialmente bajo pedido especial a la compañía Uniroyal. Su temperatura de reacción o de transición es de 130°C a la que la molécula forma nitrógeno N₂ gaseoso.

15 Previamente, se desgasifica parcialmente el aceite del transformador para eliminar la mayor parte del aire que está normalmente disuelto en el mismo, hasta un contenido de aproximadamente el 2% de aire en el aceite, de manera que el nitrógeno formado por descomposición de la molécula D se disuelva en el aceite en lugar de formar burbujas de gas.

La cantidad de molécula D introducida en el aceite del transformador se calcula de manera que su concentración final sea de aproximadamente el 0,1% en peso del marcador en el aceite.

20 Los resultados se indican en la figura 3, las curvas ilustradas representan:

- a) temperatura del aceite en la parte inferior de la cuba;
- b) temperatura del aceite en la parte superior de la cuba;
- c) termopar en el canal de aceite que sale de los arrollamientos;
- d) concentración de nitrógeno N₂ disuelto en el aceite (en ppm);

25 e) temperatura real del punto caliente.

Se proporciona una carga de corriente al transformador, de manera que se aumenta la temperatura del aceite (curvas a y b de la figura 3).

30 Se toman muestras de aceite durante el funcionamiento y se detecta el pico de formación de nitrógeno debido a la descomposición de la molécula D a lo largo de la curva experimental de la figura 3 (curva d). La técnica usada es el análisis de los gases disueltos en el laboratorio (AGD).

De ello se deduce que en el momento de la aparición del residuo (curva d), la temperatura del punto más caliente en el aceite de la cuba es igual a la temperatura de transformación del residuo, es decir 130°C. La curva (e) de la figura 3 muestra la evolución de la temperatura real del punto caliente en función del tiempo.

Ejemplo 4:

35 El marcador elegido es una molécula de 4,4'-oxibis(bencenosulfonil)hidracina químicamente modificada para hacer que sea soluble en el aceite mineral (molécula F). Para ello, se injerta en la molécula una cadena lateral de hidrocarburos saturados, que contiene normalmente 18 átomos de carbono. Tal molécula modificada está disponible comercialmente bajo pedido especial a la compañía Uniroyal. Su temperatura de reacción o de transición es de 150°C a la que la molécula forma nitrógeno N₂ gaseoso.

40 Previamente, se desgasifica parcialmente el aceite del transformador para eliminar la mayor parte del aire que está normalmente disuelto en el mismo, hasta un contenido de aproximadamente el 2% de aire en el aceite, de manera que el nitrógeno formado por descomposición de la molécula F se disuelva en el aceite en lugar de formar burbujas de gas. La cantidad de molécula F introducida en el aceite del transformador se calcula de manera que su concentración final sea de aproximadamente el 0,1% en peso de marcador en el aceite.

45 Se obtuvieron formaciones de gases similares a las presentadas en la figura 3, pero a temperaturas más elevadas.

Ejemplo 5:

El marcador elegido es una molécula de carbonilo de metal que presenta una cadena lateral hidrocarbonada (molécula G).

ES 2 688 620 T3

Su temperatura de reacción o de transición es de 100°C, a la que la molécula forma monóxido de carbono (CO) totalmente soluble en el aceite.

La cantidad de moléculas G introducida en el aceite del transformador se calcula de manera que su concentración final sea de aproximadamente el 0,01% en peso de marcador en el aceite.

- 5 Se obtienen resultados de formación de gases similares a los indicados en la figura 3, pero a temperaturas más bajas.

REIVINDICACIONES

1. Método para establecer la temperatura T_{PC}^* del punto caliente de un aceite contenido en un aparato eléctrico, según diferentes condiciones de funcionamiento del aparato, comprendiendo el método:
- 5 a) hacer funcionar el aparato eléctrico según al menos una condición de funcionamiento predeterminada de manera que se aumenta la temperatura del aceite T_H ,
- estando el método caracterizado por que, en la etapa a), se aumenta la temperatura del aceite T_H hasta que alcanza un equilibrio, comprendiendo el aceite al menos un compuesto químico soluble en el aceite, formando cada compuesto un residuo soluble en el aceite a una temperatura de formación del residuo T_R ;
- y por que comprende además las siguiente etapas:
- 10 b) realizar al menos una toma de una muestra de aceite después de la etapa a) al tiempo que se mide la temperatura del aceite T_H ;
- c) realizar un análisis de la muestra tomada en la etapa b) para determinar si el residuo está presente o no;
- 15 d) a partir del análisis de la etapa c), estimar la temperatura del punto caliente en la condición de funcionamiento predeterminada T_{PC} que ha permitido una aparición en la muestra de dicho al menos un residuo, como que es igual a la temperatura de formación de dicho al menos un residuo T_R ,
- e) calcular la diferencia ΔT entre la temperatura del punto caliente T_{PC} y la temperatura del aceite T_H en la condición de funcionamiento predeterminada;
- 20 f) establecer que la temperatura T_{PC}^* según cualquier otra condición de funcionamiento del aparato se obtiene según la siguiente ecuación: $T_{PC}^* = T_H^* + \Delta T$, siendo T_H^* la temperatura del aceite en dicha otra condición de funcionamiento.
2. Método según la reivindicación 1, en el que:
- la etapa a) se realiza usando un único compuesto químico soluble en el aceite;
 - la etapa b) se realiza después de la etapa a);
 - tras la etapa c), la etapa d) se realiza de la siguiente manera:
- 25 si el residuo está presente;
- d1) se elimina el residuo presente en el aceite,
 - d2) se hace funcionar el aparato según una nueva condición de funcionamiento de manera que se reduce la temperatura T_H del aceite alcanzada en equilibrio; y
 - d3) se repiten las etapas b), c), d1) y d2) hasta que ya no haya residuos presentes en la muestra
- 30 tomada en la etapa c),
- si el residuo está ausente:
- d4) se repiten las etapas a), b) y c) hasta que el residuo esté presente en la muestra;
- y se establecen las condiciones de funcionamiento en las que la temperatura del punto caliente T_{PC} es igual a la temperatura de transición del residuo T_R .
- 35 3. Método según la reivindicación 1, en el que:
- la etapa a) se realiza usando al menos dos compuestos químicos diferentes y solubles en el aceite que forman cada uno un residuo soluble en el aceite a una temperatura de formación del residuo T_R , siendo las temperaturas T_R para cada residuo diferentes unas de otras;
 - la etapa b) se realiza después de la etapa a);
- 40 - la etapa d) se realiza de la siguiente manera:
- si ningún residuo está presente:
- d1) se repiten las etapas a) a c) hasta la aparición de al menos uno de los residuos solubles en las muestras tomadas;
- si todos los residuos están presentes:

d2) se eliminan los residuos presentes en aceite; y

d3) se repiten las etapas a) a c) hasta la desaparición de al menos uno de los residuos solubles en las muestras tomadas;

5 se establecen las condiciones de funcionamiento en las que la temperatura del punto caliente T_{PCest} está comprendida entre la temperatura T_{R1} de formación del residuo del compuesto químico que ha producido el residuo y la temperatura T_{R2} de formación del residuo del compuesto químico que no ha producido ningún residuo;

- y en la etapa e), se calcula ΔT como que es igual a $T_{PCest} - T_H$, siendo T_H la temperatura del aceite alcanzada en equilibrio medida durante la última iteración de la etapa a).

10 4. Método según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en el que el aparato eléctrico es un transformador de potencia eléctrica.

5. Método según la reivindicación 1, en el que el o los compuestos químicos, a una temperatura dada, son:

- un compuesto que forma un gas soluble en el aceite;

- un compuesto que cambia de color de manera irreversible;

15 - un compuesto que cambia de fase de manera irreversible; o

- un compuesto que cambia de estructura química de manera irreversible.

6. Método según la reivindicación 1, en el que el o los compuestos químicos son compuestos diazoicos, carbonilos de metales; colorantes, pigmentos, cristales líquidos o albuminas.

20 7. Método según la reivindicación 6, en el que el o los compuestos químicos son compuestos diazoicos, estando entonces el residuo formado por nitrógeno soluble en el aceite, comprendiendo entonces el método una etapa preliminar a la etapa a) consistente en realizar una desgasificación del aceite para eliminar del mismo el aire disuelto.

25 8. Método según la reivindicación 7, en el que el o los compuestos químicos se eligen del grupo constituido por difenilsulfona-3,3'-disulfohidracina y 4,4'-oxibis(bencenosulfonil)hidracina, químicamente modificadas para ser solubles en el aceite.

30 9. Dispositivo para establecer la temperatura T_{PC}^* del punto caliente de un aceite contenido en un aparato eléctrico (1), según diferentes condiciones de funcionamiento del aparato, comprendiendo el aceite al menos un compuesto químico soluble en el aceite, formando cada compuesto un residuo soluble en el aceite a una temperatura de formación del residuo T_R ; estando el dispositivo caracterizado por que comprende:

medios (17) para realizar un análisis de una muestra de aceite para determinar si el residuo está presente;

medios (19) para estimar la temperatura del punto caliente en una condición de funcionamiento predeterminada T_{PC} que ha permitido una aparición en la muestra de dicho al menos un residuo, como que es igual a la temperatura de formación de dicho al menos un residuo T_R ;

35 medios (13) para medir la temperatura del aceite T_H ;

medios (19) para calcular una diferencia ΔT entre la temperatura del punto caliente T_{PC} y la temperatura del aceite T_H cuando ha alcanzado un equilibrio en la condición de funcionamiento predeterminada; y

40 medios (19) para establecer la temperatura del punto caliente del aparato en cualquier otra condición de funcionamiento T_{PC}^* , según la siguiente ecuación: $T_{PC}^* = T_H^* + \Delta T$, siendo T_H^* la temperatura del aceite en dicha otra condición de funcionamiento.

10. Dispositivo según la reivindicación 9, en el que los medios (17) para realizar el análisis de la muestra de aceite son medios para medir la concentración de cada residuo presente en el aceite.

45 11. Dispositivo según la reivindicación 9, en el que los medios (17) para realizar el análisis de la muestra de aceite se eligen del grupo constituido por colorimetría, análisis de los gases disueltos, espectrometría de masas, resonancia magnética nuclear, cromatografía en fase gaseosa o líquida, espectrometría infrarroja, espectrometría ultravioleta y fluorescencia X.

12. Dispositivo según la reivindicación 9, en el que los medios (13) para medir la temperatura del aceite comprenden un termómetro, un termopar o una sonda de medición de temperatura.

13. Dispositivo según la reivindicación 12, en el que los medios (17) para realizar el análisis, los medios para estimar, los medios (19) para calcular y los medios para establecer la temperatura del punto caliente T_{PC}^* están realizados por un ordenador provisto de un software y conectado a un teclado y una pantalla.

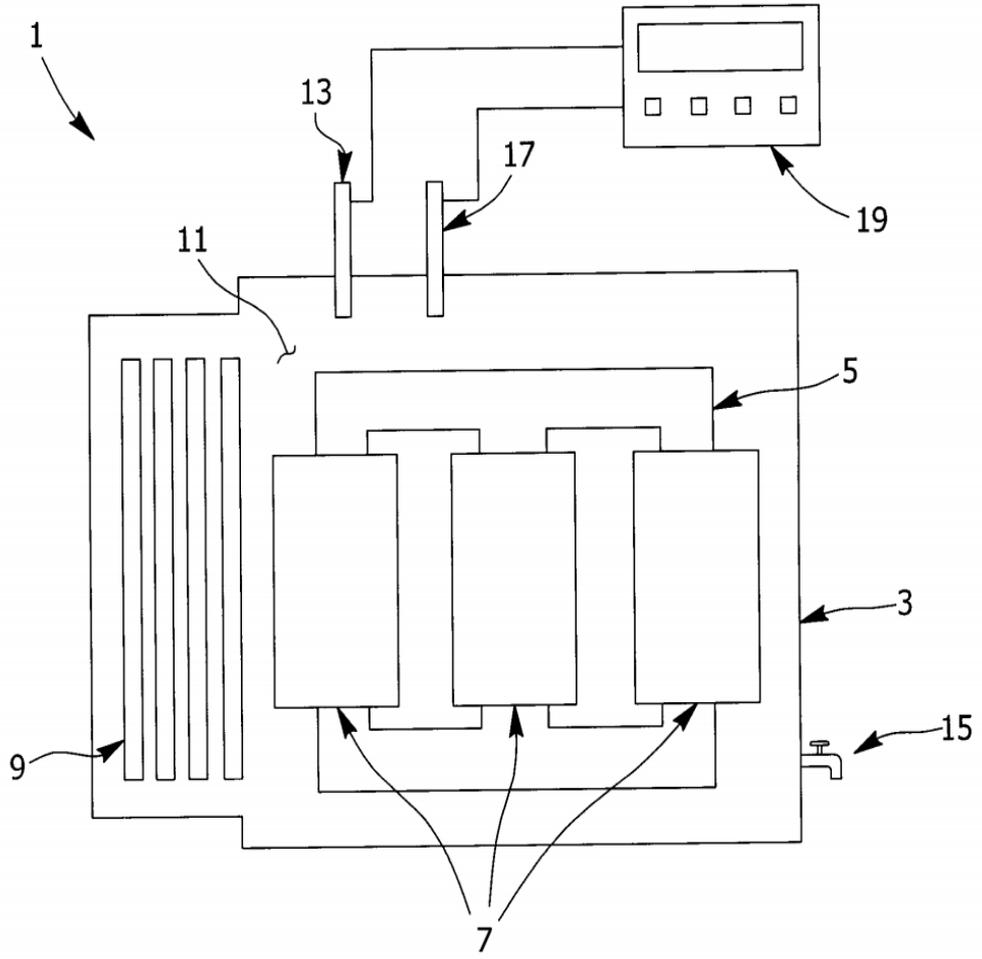


FIGURA 1

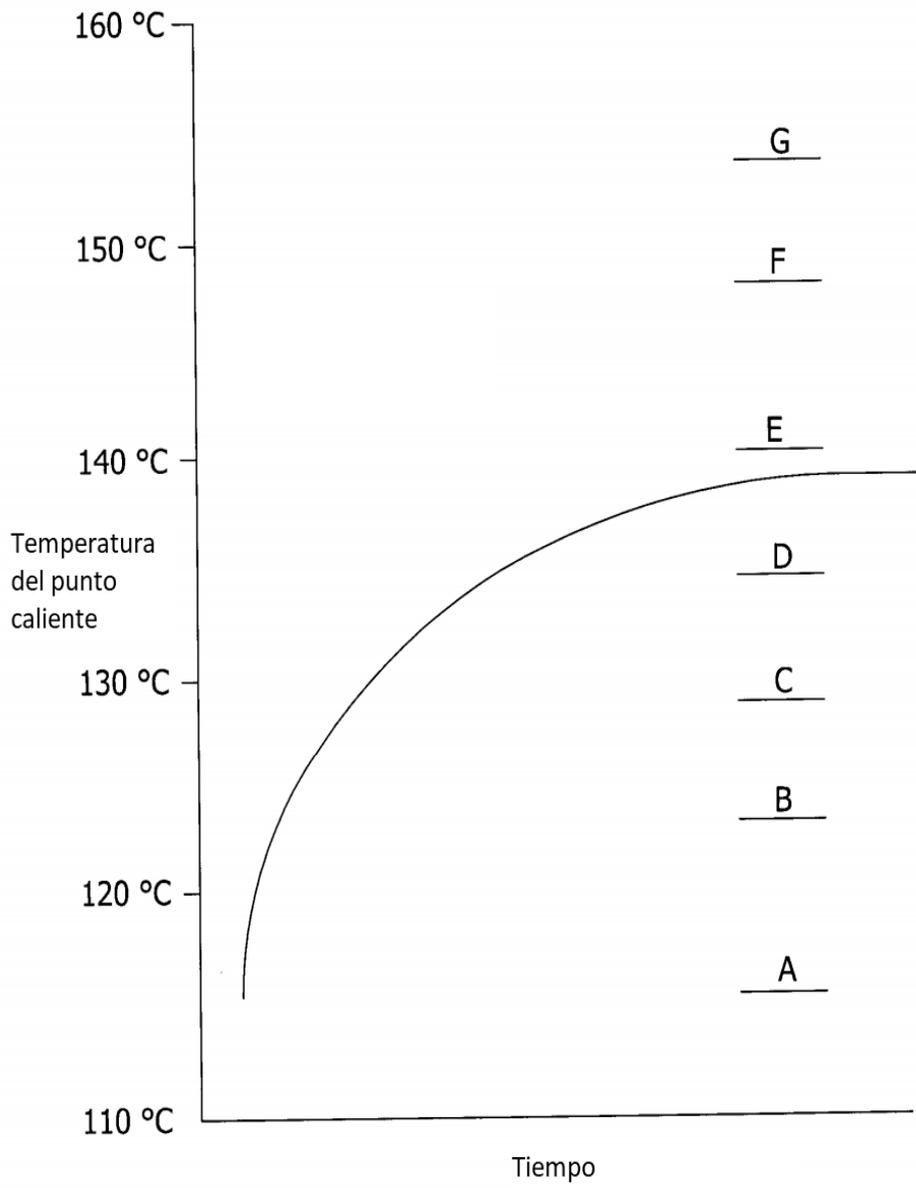


FIGURA 2

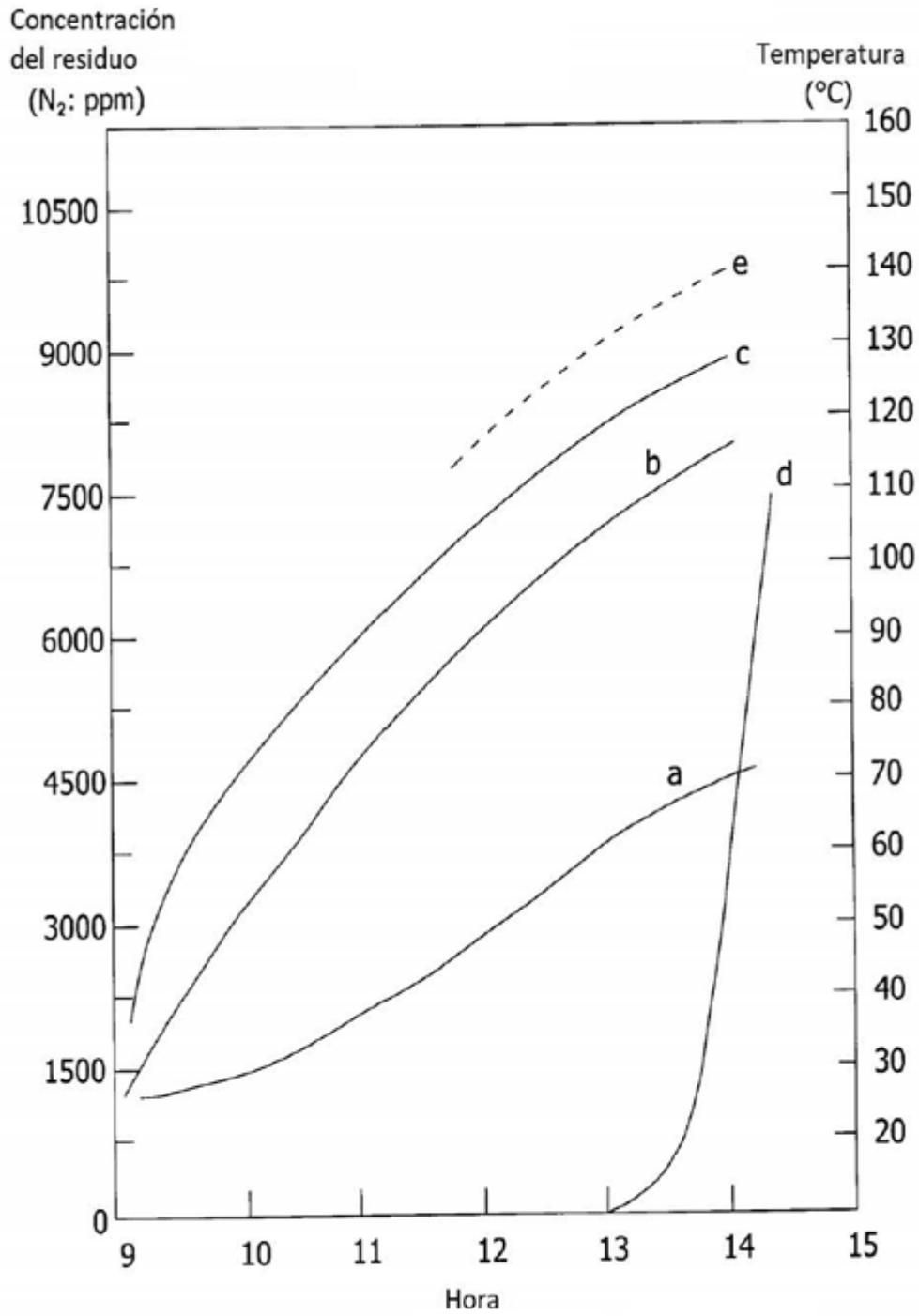


FIGURA 3