

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 525 938**

51 Int. Cl.:

**H02B 13/055** (2006.01)

**H01B 3/56** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA MODIFICADA  
TRAS OPOSICIÓN

T5

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **12.06.2009 PCT/EP2009/057294**

87 Fecha y número de publicación internacional: **16.12.2010 WO10142346**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **12.06.2009 E 09779737 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea modificada tras oposición: **01.05.2024 EP 2441075**

54 Título: **Medio de aislamiento dieléctrico**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la  
traducción de la patente modificada:  
**19.11.2024**

73 Titular/es:

**ABB SCHWEIZ AG (50.0%)  
Bruggerstrasse 66  
5400 Baden, CH y  
HITACHI ENERGY LTD (50.0%)**

72 Inventor/es:

**CLAESSENS, MAX-STEFFEN y  
SKARBY, PER**

74 Agente/Representante:

**ELZABURU, S.L.P**

ES 2 525 938 T5

## DESCRIPCIÓN

Medio de aislamiento dieléctrico

5 La presente invención se refiere a un medio de aislamiento dieléctrico, de acuerdo con el preámbulo de las reivindicaciones 1, 7 y 13. La invención se refiere además a un aparato para la generación, la distribución o el uso de energía eléctrica, de acuerdo con el preámbulo de la reivindicación 19 y a un método de dimensionamiento de la reivindicación 31.

Los medios de aislamiento dieléctrico en estado líquido o gaseoso se aplican de manera convencional para el aislamiento de una parte activa eléctrica en una amplia variedad de aparatos eléctricos, tal como equipos de conmutación o transformadores.

10 En equipos de conmutación encapsulados con metal de voltaje alto o medio, por ejemplo, la parte activa eléctrica se dispone en un alojamiento hermético a gases, que define un espacio de aislamiento, comprendiendo dicho espacio de aislamiento un gas de aislamiento por lo general con una presión de varios bares (varios cientos de kPa) y que separa el alojamiento de la parte activa eléctrica sin dejar que la corriente eléctrica lo atraviese. Por lo tanto, los equipos de conmutación encapsulados con metal permiten una construcción que ahorra mucho más espacio que los equipos de conmutación que se montan en exteriores y se aíslan sólo por el aire ambiente. Para interrumpir la corriente en un equipo de conmutación de alto voltaje, el gas aislante funciona adicionalmente como un gas de extinción de arco.

20 Los gases de aislamiento usados de forma convencional con un alto comportamiento de aislamiento y conmutación tienen un cierto impacto ambiental cuando se liberan a la atmósfera. Hasta ahora, se ha hecho frente al alto potencial de calentamiento global (GWP, *global warming potencial*) de estos gases de aislamiento con un control estricto de fuga de gases en aparatos aislados con gas y un manejo muy cuidadoso de los gases. Los gases de aislamiento convencionales, respetuosos con el medio ambiente, tal como por ejemplo el aire seco o el CO<sub>2</sub>, tienen un comportamiento de aislamiento bastante bajo, de modo que tendrían que aumentarse la presión del gas y / o las distancias de aislamiento.

25 Por las razones mencionadas en lo que antecede, se han hecho esfuerzos en el pasado para sustituir estos gases de aislamiento convencionales por unos sustitutos adecuados.

30 Por ejemplo, el documento WO 2008/073790 describe un compuesto gaseoso dieléctrico que - entre otras características - tiene un punto de ebullición en el intervalo entre aproximadamente -20 °C y aproximadamente -273 °C, que es bajo, de manera preferente sin empobrecimiento de ozono y que tiene un GWP menor de aproximadamente 22.200. En concreto, el documento WO 2008/073790 describe varios compuestos diferentes que no caen dentro de una definición química genérica.

Además, el documento US-A-4175048 se refiere a un aislante gaseoso que comprende un compuesto seleccionado del grupo de perfluorociclohexeno y hexafluoroazometano, y el documento EP-A-0670294 describe el uso de perfluoropropano como un gas dieléctrico.

35 El documento EP-A-1933432 se refiere a trifluoroyodometano (CF<sub>3</sub>I) y a su uso como un gas aislante en un equipo de conmutación aislada con gas. A este respecto, el documento menciona que tanto la fuerza dieléctrica como el comportamiento de interrupción son requisitos importantes para un gas aislante. El CF<sub>3</sub>I tiene de acuerdo con el documento EP-A-1933432 un GWP de 5 y por lo tanto se considera que provoca una carga ambiental relativamente baja. Sin embargo, debido al punto de ebullición relativamente alto del CF<sub>3</sub>I (-22 °C), se enseñan mezclas gaseosas con CO<sub>2</sub>. Además, el gas CF<sub>3</sub>I puro tiene aproximadamente el mismo comportamiento de aislamiento que los medios de aislamiento convencionales que tienen un alto comportamiento de aislamiento y conmutación, de modo que las mezclas de gases propuestas tienen aproximadamente un 80 % del comportamiento de aislamiento específico de un medio de aislamiento convencional puro, lo que tendría que llegar a compensarse por una presión de carga aumentada y / o una mayor distancia de aislamiento.

45 Por lo tanto, existe la necesidad constante de un medio de aislamiento que provoque una carga ambiental aún menor que el CF<sub>3</sub>I y que no requiera un aumento de la presión de gas y / o las distancias de aislamiento por encima de los valores habituales de la actualidad.

50 A la vista de esto, el objeto de la presente invención por lo tanto es proporcionar un medio aislante que tenga un GWP reducido, pero que tenga al mismo tiempo propiedades de aislamiento comparables o aún mejoradas en comparación con los medios de aislamiento conocidos sin un aumento de la presión de gas y / o de las distancias de aislamiento por encima de los valores aplicados en la actualidad.

Este objeto se logra por el medio de aislamiento de acuerdo con las reivindicaciones 1, 7 y 13. Las realizaciones preferentes de la invención se dan en las reivindicaciones dependientes.

55 La invención se basa en el hallazgo sorprendente de que, mediante el uso de una fluorocetona que tiene de 4 a 12 átomos de carbono, puede obtenerse un medio de aislamiento que tiene altas capacidades de aislamiento, en

particular una alta intensidad dieléctrica (o intensidad de campo de disrupción), y al mismo tiempo un potencial de calentamiento global (GWP) extremadamente bajo.

En general, la fluorocetona de acuerdo con la presente invención tiene la estructura general



5 en donde R1 y R2 son cadenas por lo menos parcialmente fluoradas, siendo dichas cadenas independientemente entre sí lineales o ramificadas y teniendo de 1 a 10 átomos de carbono. La definición abarca tanto cetonas perfluoradas como cetonas hidrofluoradas.

10 En general, la fluorocetona usada de acuerdo con la presente invención tiene un punto de ebullición de por lo menos  $-5^{\circ}\text{C}$  a presión ambiente, lo que contrasta claramente con las enseñanzas del estado de la técnica y en particular del documento WO 2008/073790 que enseña que un punto de ebullición de  $-20^{\circ}\text{C}$  o menor es una característica esencial de un compuesto dieléctrico factible.

15 De manera preferente, la fluorocetona tiene de 4 a 10 átomos de carbono, de manera más preferente de 4 a 8 átomos de carbono, y de manera lo más preferente 6 átomos de carbono (a la que también se hace referencia como C6-fluorocetona). Tal como se ha mencionado en lo que antecede, dicha C6-fluorocetona puede ser una cetona perfluorada (que tiene la fórmula molecular  $\text{C}_6\text{F}_{12}\text{O}$ ) o una cetona hidrofluorada.

Durante el uso, el medio de aislamiento puede estar tanto en estado líquido como gaseoso. En particular, el medio de aislamiento puede ser un sistema de dos fases que comprende la fluorocetona tanto en un estado líquido como gaseoso. De manera más particular, el medio de aislamiento puede ser un aerosol que comprende gotas de la fluorocetona dispersadas en una fase gaseosa que comprende fluorocetona en estado gaseoso.

20 El medio de aislamiento comprende un gas de aislamiento que comprende la fluorocetona en condiciones operativas. Este es en particular el caso para un medio de aislamiento usado para una conmutación de alto voltaje en un equipo de conmutación correspondiente.

El gas de aislamiento es una mezcla de gases, que aparte de la fluorocetona comprende oxígeno ( $\text{O}_2$ ) como gas amortiguador o portador.

25 Las propiedades de aislamiento del gas de aislamiento, y en particular su intensidad de campo de disrupción, pueden controlarse por la temperatura, presión y / o composición del medio de aislamiento. Si se usa un sistema de dos fases que comprende la fluorocetona tanto en el estado líquido como gaseoso, un aumento de la temperatura no sólo dará como resultado un aumento de la presión absoluta, sino también un aumento de la concentración de fluorocetona en el gas de aislamiento debido a una mayor presión de vapor.

30 Se ha encontrado que para muchas aplicaciones del gas de aislamiento, tal como aplicaciones en el intervalo de medio voltaje, puede lograrse una suficiente relación molar, es decir, la relación entre el número de moléculas de la fluorocetona al número de moléculas de los componentes restantes del medio (en general el gas portador o amortiguador), y por lo tanto también una suficiente intensidad de campo de disrupción aún a temperaturas operativas muy bajas, por ejemplo hasta aproximadamente  $-30^{\circ}\text{C}$  o incluso  $-40^{\circ}\text{C}$ , sin medidas adicionales tales como vaporización o calentamiento externo.

35 Si se desea una mayor concentración de la fluorocetona en el gas de aislamiento para aumentar la intensidad del campo de disrupción, que puede ser en particular el caso en aplicaciones de alto voltaje, puede adaptarse en consecuencia la presión, la composición y / o la temperatura del medio de aislamiento. Una manera de cómo deducir los parámetros deducidos para obtener una intensidad deseada de campo de disrupción se ejemplificará adicionalmente en el contexto de las figuras en lo sucesivo.

40 El medio de aislamiento dieléctrico de la presente invención puede usarse en cualquier aparato para la generación, la distribución o el uso de energía eléctrica, particularmente en un equipo de conmutación o una parte y / o componente de la misma.

45 Para una conmutación de alto voltaje, por ejemplo, es de particular importancia la capacidad de interrupción (o capacidad de extinción de arco) del medio de aislamiento. De manera sorprendente se ha encontrado que el medio de acuerdo con la presente invención no solo tiene una capacidad de aislamiento comparable o incluso mejorada con respecto al medio de aislamiento convencional mencionado en lo que antecede, sino también una suficiente capacidad de extinción de arco. Sin intención alguna de quedar limitado por la teoría, se supone que esta capacidad de extinción de arco puede atribuirse por lo menos parcialmente a la recombinación de los productos de disociación de la fluorocetona dentro de la región de arco principalmente para dar tetrafluorometano ( $\text{CF}_4$ ), que se sabe bien que es un medio de extinción de arco sumamente potente.

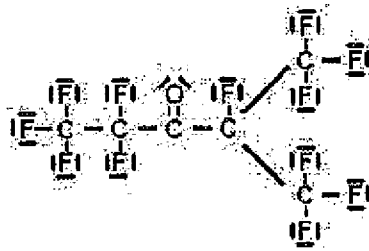
50 Otro aspecto importante durante la interrupción de arco es el aumento de temperatura del gas de conmutación en la totalidad del recipiente, lo que puede conducir a fallos de aislamiento en el recipiente conectado a masa aún después de una interrupción de arco con éxito en el interior de la separación de conmutación, especialmente

después de una interrupción de defecto fuerte en interruptores automáticos encapsulados con metal. Debido a la descomposición en fluorocarburos inferiores de las fluorocetonas a temperaturas moderadas (por ejemplo de aproximadamente 550 °C a 570 °C para la C6-fluorocetona), la energía térmica inyectada en los volúmenes de escape no conduce a temperaturas por encima de estas temperaturas de disociación, hasta que se disocia toda la fluorocetona. Si se proporciona suficiente fluorocetona, la temperatura del gas de escape no puede exceder por lo tanto las temperaturas mencionadas en lo que antecede, lo que conduce a un buen comportamiento de aislamiento también poco después de la interrupción de una corriente de defecto fuerte en un interruptor automático de alto voltaje encapsulado con metal.

Entre las fluorocetonas lo más preferentes que tienen 6 átomos de carbono, se ha encontrado que la dodecafluoro-2-metilpentan-3-ona es particularmente preferente por sus altas propiedades aislantes y su GWP extremadamente bajo.

Con anterioridad, la dodecafluoro-2-metilpentan-3-ona (que también se denomina 1,1,1,2,2,4,5,5,5-nonafluoro-4-(trifluorometil)-3-pentanona, perfluoro-2-metil-3-pentanona o  $\text{CF}_3\text{CF}_2\text{C}(\text{O})\text{CF}(\text{CF}_3)_2$ ) sólo se ha considerado útil para unas aplicaciones completamente diferentes, en concreto el procesamiento de metales reactivos fundidos (tal como se hace referencia a los mismos en el documento WO 2004/090177), para la limpieza de un reactor de vapor (tal como se hace referencia al mismo en el documento WO 02/086191 y en los sistemas de extinción de incendios o en forma líquida para el enfriamiento de sistemas electrónicos, o para el proceso Rankine en pequeñas plantas de energía (tal como se hace referencia a las mismas en el documento EP-A-1764487).

La dodecafluoro-2-metilpentan-3-ona es transparente, incolora y casi inodora. Su fórmula estructural se da en lo siguiente:



La dodecafluoro-2-metilpentan-3-ona tiene una vida media promedio en la atmósfera de aproximadamente 5 días y su GWP es solo de aproximadamente 1. Además, su potencial de empobrecimiento de ozono (ODP, *ozone depletion potential*) es cero. Por lo tanto, la carga ambiental es mucho menor que la de los gases de aislamiento convencionales.

Además, la dodecafluoro-2-metilpentan-3-ona es no tóxica y ofrece márgenes sobresalientes de seguridad para los seres humanos. Esto es en contraste con las fluorocetonas que tienen menos de 4 átomos de carbono, tal como hexafluoroacetona (o hexafluoropropanona), que en general son tóxicas y muy reactivas.

La dodecafluoro-2-metilpentan-3-ona tiene un punto de ebullición de 49,2 °C a 1 bar (100 kPa). Su presión de vapor, es decir, la presión de vapor en equilibrio con sus fases no de vapor, es de aproximadamente 40 kPa a 25 °C. Dada la alta presión de vapor de la dodecafluoro-2-metilpentan-3-ona, en general, también puede lograrse un gas de aislamiento que tenga una intensidad de campo de disrupción suficiente para muchas aplicaciones, en particular en el intervalo de medio voltaje, a muy bajas temperaturas hasta -30 °C.

Si el medio de aislamiento es un gas de aislamiento, como es preferiblemente por ejemplo el caso en un interruptor automático de un equipo de conmutación de alto voltaje, la dodecafluoro-2-metilpentan-3-ona es en una mezcla de gases, que comprende además de manera preferente aire o bien por lo menos un componente de aire que funciona como un gas portador o amortiguador.

Sobre la base del hallazgo de que a una temperatura de 550 °C o mayor, la dodecafluoro-2-metilpentan-3-ona se descompone en compuestos de fluorocarburo muy reactivos que tienen un menor número de átomos de carbono, el gas aislante comprende oxígeno suficiente ( $\text{O}_2$ ) con el que los compuestos de fluorocarburo formados pueden reaccionar para formar compuestos inertes, tal como por ejemplo  $\text{CO}_2$ .

De acuerdo con una realización particularmente preferente de la presente invención, la relación molar de la fluorocetona, en particular de la dodecafluoro-2-metilpentan-3-ona, en el gas de aislamiento es por lo menos de un 1 %, de manera preferente por lo menos de un 2 %, de manera más preferente por lo menos de un 5 %, de manera más preferente por lo menos de un 10 %, de manera lo más preferente por lo menos de un 15 %. Estas relaciones molares preferentes se refieren a una condición operativa normal o indicada determinada. Bajo unas condiciones anómalas, la relación molar puede seguir variando con respecto a estos valores preferentes.

La importancia de un medio aislante que comprende dodecafluoro-2-metilpentan-3-ona en una relación molar de por lo menos un 1 %, o un 2 %, respectivamente, se basa en el hallazgo de que un gas de aislamiento que tiene esta relación molar también puede obtenerse en condiciones de muy baja temperatura hasta -30 °C para un 2 % y hasta -

40 °C para un 1 % y que este gas de aislamiento tiene una suficiente intensidad dieléctrica por ejemplo para los aparatos de medio voltaje, tales como equipos de conmutación aislados con gas de medio voltaje, que se accionan a una presión de gas de aislamiento de aproximadamente 1 bar (100 kPa) y en particular por debajo de 1,5 bares (150 kPa). Tal como se ilustrará adicionalmente por medio de los ejemplos, la capacidad aislante de un gas aislante que tiene una relación molar de dodecafluoro-2-metilpentan-3-ona de por lo menos un 15 % es (a 1 bar (100 kPa)) aún más alta que la de los gases aislantes convencionales. Por lo tanto, la presente realización es particularmente preferente.

Es un objeto adicional de la presente invención proporcionar un aislamiento dieléctrico mejorado y unos aparatos eléctricos mejorados que comprenden el medio de aislamiento que se ha descrito en lo que antecede. Este objeto se logra de acuerdo con la reivindicación 21 mediante un aparato que comprende la fluorocetona que se ha descrito en lo que antecede. Las realizaciones preferentes se describen y se reivindican en las reivindicaciones dependientes.

Por lo tanto, además del medio de aislamiento que se ha descrito en lo que antecede, la presente invención se refiere además a un aparato para la generación, la distribución y el uso de energía eléctrica, comprendiendo dicho aparato un alojamiento que define un espacio aislante y una parte activa eléctrica dispuesta en el espacio aislante. Este espacio aislante comprende el medio de aislamiento que se ha descrito en lo que antecede.

El término "o" en la expresión "aparato para la generación, la distribución o el uso de energía eléctrica" no ha de entenderse en este contexto como que excluye combinaciones sino que ha de leerse como "y / o".

Así mismo, la expresión "parte eléctrica activa" en este contexto ha de interpretarse en un sentido amplio como que comprende un conductor, una disposición conductora, un conmutador, un componente conductor, un supresor de sobrecargas, y similares.

En particular, el aparato de la presente invención incluye un equipo de conmutación, en particular un equipo de conmutación encapsulada con metal (o de otro modo), aislada con aire o aislada con gas, o una parte o componente de la misma, en particular una barra colectora, un pasante, un cable, un cable aislado con gas, un empalme de cable, un transformador de corriente, un transformador de voltaje, un supresor de sobrecarga, un conmutador de conexión a tierra, un desconectador, un conmutador de interrupción de carga, y / o un interruptor automático.

Los equipos de conmutación, en particular, los equipos de conmutación aislados con gas (GIS, *gas-insulated switchgear*), son bien conocidas por el experto en la materia. Un ejemplo de un equipo de conmutación para la cual está particularmente bien adaptada la presente invención se muestra por ejemplo en el documento EP-A-1933432, párrafos [0011] a [0015].

Además, se prefiere que el aparato sea un conmutador, en particular un conmutador de conexión a tierra (por ejemplo, un conmutador de conexión a tierra de acción rápida), un desconectador, un conmutador de interrupción de carga o un interruptor automático, en particular un interruptor automático de medio voltaje, un interruptor automático de generador y / o un interruptor automático de alto voltaje.

De acuerdo con otra realización preferente, el aparato puede ser un transformador, en particular un transformador de distribución o un transformador de potencia.

De acuerdo con aún otras realizaciones, el aparato también puede ser, por ejemplo, una máquina rotatoria eléctrica, un generador, un motor, una unidad de impulsión, un dispositivo semiconductor, una máquina de cálculo, un dispositivo electrónico de potencia, y / o un componente de los mismos.

La invención se refiere en particular a un aparato de medio o de alto voltaje. La expresión "medio voltaje" tal como se usa en el presente documento se refiere a un voltaje en el intervalo de 1 kV a 72 kV, en tanto que la expresión "alto voltaje" se refiere a un voltaje de más de 72 kV. Las aplicaciones en el intervalo de bajo voltaje por debajo de 1 kV son también factibles.

Con el fin de ajustar los parámetros respectivos al valor requerido para lograr una intensidad deseada de campo de disrupción, el aparato puede comprender una unidad de control (a la que también se hace referencia como "sistema de manejo de fluido") para controlar de forma individual o en combinación la composición, en particular la composición química o la composición de fase física, tal como un sistema de dos fases gas / líquido, y / o la temperatura del medio de aislamiento así como la presión absoluta, la densidad de gas, la presión parcial y / o la densidad de gas parcial del medio de aislamiento o por lo menos uno de sus componentes, respectivamente. En particular, la unidad de control puede comprender un calentador y / o vaporizador con el fin de controlar la presión de vapor de la fluorocetona de acuerdo con la invención. El vaporizador puede ser por ejemplo un vaporizador por ultrasonidos, o puede comprender boquillas de pulverización para pulverizar el medio de aislamiento en el aparato.

En una realización a modo de ejemplo para aplicaciones de alto voltaje puede proporcionarse una presión parcial de la fluorocetona en el medio aislante por calentamiento y / o vaporización, de tal modo que la presión parcial de la fluorocetona se mantenga a un nivel de presión de por lo menos 0,6 bares (60 kPa) en equipos de conmutación aislados con gas (GIS), barras comunes o líneas de transmisión aisladas con gas (GITL, *gas-insulated transmission line*), que se corresponde con unas distancias de aislamiento convencionales (con unas intensidades de campo

aproximadamente requeridas de aproximadamente 300 kV / cm) y unos niveles convencionales de presión de por ejemplo aproximadamente 4 bares (400 kPa). En consecuencia, en un interruptor automático de alto voltaje, el calentamiento y / o vaporización se debe adaptar de tal modo que se mantenga la presión parcial de la fluorocetona a un nivel de presión de por lo menos 0,9 bares (90 kPa), que se corresponde con unas distancias de aislamiento convencionales (con unas intensidades de campo aproximadamente requeridas de aproximadamente 440 kV / cm) y unos niveles convencionales de presión de por ejemplo aproximadamente 6 bares (600 kPa).

Si se usa un vaporizador, por lo general este también comprende una unidad dosificadora para ajustar la concentración de la fluorocetona en el medio de aislamiento de acuerdo con las necesidades de la intensidad de campo de disrupción. Esto se mostrará a modo de ejemplo con más detalle en lo sucesivo para un equipo de conmutación aislada con gas de alto voltaje. Además, la unidad de control puede comprender una unidad de medición para medir los parámetros de control, tal como temperatura, presiones y / o composición - en particular el nivel de fase líquida - y / o una unidad de supervisión para supervisar tales parámetros.

La invención se ilustra adicionalmente por medio del siguiente ejemplo en combinación con las figuras, de las cuales

- Figura 1a muestra una representación gráfica del campo de disrupción reducida en presión, de un medio aislante de acuerdo con la presente invención como una función de su fracción molar de dodecafluoro-2-metilpentan-3-ona en comparación con el campo de disrupción de los gases de aislamiento convencionales;
- Figuras 1b, 1c muestran la presión absoluta del medio de aislamiento como una función de la presión parcial de la dodecafluoro-2-metilpentan-3-ona;
- Figura 2 muestra una representación gráfica de la presión de vapor de la dodecafluoro-2-metilpentan-3-ona como una función de la temperatura;
- Figuras 3a, 3b, 3c muestran para varios niveles de concentración, es decir, fracciones molares, de la dodecafluoro-2-metilpentan-3-ona en aire como gas portador, los valores respectivos de presión y temperatura a los cuales se logra una intensidad de campo de disrupción a modo de ejemplo de 440 kV / cm o 50 kV / cm;
- Figura 4 muestra una representación puramente esquemática de un equipo de conmutación aislada con gas de alto voltaje de acuerdo con la presente invención que comprende una unidad de control de temperatura; y
- Figura 5 muestra una representación puramente esquemática de un equipo de conmutación aislada con gas de alto voltaje de acuerdo con la presente invención que comprende una unidad de manejo de fluido.

### Ejemplos

Para medir la intensidad de campo de disrupción de un medio de aislamiento de acuerdo con la presente invención, un recipiente de prueba que comprende dodecafluoro-2-metilpentan-3-ona (Novec 649, facilitado por 3M) se evacuó hasta aproximadamente 140 mbares (14 Pa) y la presión se aumentó sucesivamente al adicionar aire ambiente como gas amortiguador hasta aproximadamente 5 bares (500 kPa). Para fracciones molares seleccionadas de dodecafluoro-2-metilpentan-3-ona en el gas de aislamiento resultante, se determinó la intensidad de campo de disrupción en una disposición de electrodos de espiga- placa bajo la aplicación de voltaje en cc.

Tal como se muestra en la figura 1a, la intensidad de campo de disrupción reducida en presión para el medio de aislamiento de acuerdo con la presente invención aumenta de forma lineal como una función de una fracción molar creciente de la fluorocetona de la presente invención, que se selecciona en el presente caso para que sea dodecafluoro-2-metilpentan-3-ona. A una fracción molar por encima de un 15 %, el medio de aislamiento de acuerdo con la presente invención tiene un voltaje de disrupción mayor que el gas de aislamiento lo más convencional de acuerdo con el estado de la técnica.

Las figuras 1b y 1c muestran la presión de carga absoluta del medio de aislamiento de acuerdo con la presente invención como una función de la fracción molar de la fluorocetona de la presente invención, que se selecciona en el presente caso para que sea dodecafluoro-2-metilpentan-3-ona. Las figuras 1b y 1c se obtienen de la figura 1a mediante la elección de una intensidad de campo permisible del aparato eléctrico, mediante la transformación de la abscisa (eje y) de la figura 1a mediante la división de los valores por la intensidad de campo permisible y mediante la inversión de los valores resultantes para llegar a una escala de presión absoluta y por lo tanto a una curva de presión absoluta, y mediante la multiplicación de la ordenada (eje x) con la curva de presión absoluta para llegar a la presión parcial de la fluorocetona de la invención, en el presente caso de manera preferente de la dodecafluoro-2-metilpentan-3-ona. La intensidad de campo permisible se elige para que sea a modo de ejemplo de 440 kV / cm en la figura 1b y de 50 kV / cm en la figura 1c.

En la figura 2, se muestra la presión de vapor de la dodecafluoro-2-metilpentan-3-ona como una función de la

temperatura. La presión (absoluta) del gas aislante se debe elegir de tal modo que dada la presión de gas parcial de la fluorocetona (definida por la temperatura operativa mínima de acuerdo con la figura 2) se obtenga la intensidad deseada de campo de disrupción.

5 Igualmente, puede determinarse una temperatura operativa para una intensidad dada de campo de disrupción y una presión absoluta del sistema. Por ejemplo, una intensidad de campo de disrupción de 440 kV / cm a una presión absoluta de 2,5 bares (250 kPa) se logra de acuerdo con la figura 1 a una relación molar de dodecafluoro-2-metilpentan-3-ona de 0,5. La presión parcial de la dodecafluoro-2-metilpentan-3-ona en el gas de aislamiento es por lo tanto de 1,25 bares (125 kPa). De acuerdo con la figura 2, esta presión parcial se obtiene una temperatura de 56 °C.

10 A partir de las figuras 1b o 1c en combinación con la figura 2, puede deducirse un método para seleccionar los parámetros del medio de aislamiento, tal como la presión de carga absoluta, la reacción molar o la presión parcial de la fluorocetona y el manejo de fluido, en particular el calentamiento y / o la vaporización de la fluorocetona de fase líquida, y / o el manejo de reserva de fluido de la fluorocetona de fase líquida.

Este método comprende las etapas de:

- 15 - determinar para un aparato eléctrico determinado una intensidad permisible de campo eléctrico del medio de aislamiento deseado y una temperatura operativa permisible mínima del medio de aislamiento deseado,
- determinar a partir de la intensidad de campo de disrupción reducida en presión, del medio de aislamiento deseado como una función de la fracción molar de la fluorocetona de la invención (véase por ejemplo figura 1a), en lo sucesivo en el presente documento de forma preferente con de 6 a 9 átomos de C y de manera más preferente dodecafluoro-2-metilpentan-3-ona, y a partir de la intensidad de campo permisible, la curva de presión absoluta del medio de aislamiento como una función de la presión parcial de la fluorocetona (véase por ejemplo la figura 1b o la figura 1c),
- 20 - seleccionar una presión de carga absoluta deseada del medio de aislamiento (que se define por lo general para algunas condiciones normales y puede basarse por ejemplo en limitaciones de construcción y / u operativas del aparato eléctrico),
- 25 - determinar a partir de la curva de presión absoluta, la presión parcial requerida mínima de la fluorocetona, y a partir de la curva de presión de vapor, la correspondiente temperatura de vaporización de la fluorocetona, y
- determinar si la temperatura de vaporización está por encima de la temperatura operativa permisible mínima del medio de aislamiento deseado, y
- 30 - solo si la temperatura de vaporización está por debajo de la temperatura operativa permisible mínima del medio de aislamiento deseado, proporcionar un sistema de manejo de fluido, en particular un medio para el calentamiento y / o vaporización y / o manejo de reserva de fluido de la fluorocetona de fase líquida, para mantener la presión parcial por encima de la presión parcial requerida mínima.

En la figura 1c en conexión con la figura 2 se muestra un ejemplo detallado adicional para un aparato de medio voltaje con un valor asignado a un nivel dado de voltaje, a partir del cual puede obtenerse la intensidad de campo eléctrico permisible del medio de aislamiento deseado (por ejemplo 50 kV / cm), y con un valor asignado a una temperatura ambiente, a partir del cual puede obtenerse la temperatura operativa permisible mínima del medio de aislamiento deseado (por ejemplo -25 °C). De acuerdo con la figura 2 extrapolada a -25 °C, la presión parcial de la fluorocetona de la invención, en el presente caso a modo de ejemplo dodecafluoro-2-metilpentan-3-ona, a -25 °C es aproximadamente de 0,025 bares (2,5 kPa), lo que de acuerdo con la figura 1c requiere aproximadamente 0,95 bares (95 kPa) de presión de carga absoluta. Esto está por debajo de la presión de carga permisible (por ejemplo, específica del aparato) de por ejemplo 1,2 bares (120 kPa), de tal modo que no se necesita una vaporización activa de fluorocetona líquida.

Una regla adicional de dimensionamiento se refiere a la temperatura operativa permisible máxima del medio de aislamiento deseado, por ejemplo, 105 °C en un aparato de alto voltaje o de medio voltaje. De acuerdo con la figura 2, 105 °C se corresponde con una presión parcial de fluorocetona de 5 bares (500 kPa), que puede dar como resultado que la presión parcial exceda todos los límites de presión permisibles (por ejemplo, específicos del aparato). Esto se debe evitar mediante la limitación de la cantidad de fluorocetona líquida disponible y / o la limitación de la temperatura, por ejemplo, por enfriamiento activo. Por lo tanto, en el aparato se debe limitar un volumen de reserva de la fluorocetona líquida y / o una temperatura operativa permisible máxima del medio de aislamiento deseado de tal modo que la temperatura de carga absoluta se mantenga por debajo de un límite determinado de presión del aparato (presión operativa permisible máxima). El aparato por lo tanto debe tener un volumen de reserva de fluorocetona líquida y / o un medio para limitar una temperatura operativa permisible máxima del medio de aislamiento deseado de tal modo que la presión de carga absoluta se mantenga por debajo de un límite determinado de presión del aparato.

55 Las figuras 3a, 3b y 3c muestran adicionalmente la relación entre la presión de carga absoluta y la temperatura del gas de aislamiento, requeridas para obtener una intensidad dada de campo de disrupción (= intensidad de campo

eléctrico permisible, en el presente caso a modo de ejemplo de 440 kV / cm y de 50 kV / cm, respectivamente) para varias fracciones molares M de la fluorocetona de la invención. Como es evidente, la intensidad de campo dieléctrico del gas de aislamiento puede aumentarse mediante el aumento de la relación molar M de la fluorocetona, en este caso particular de la dodecafluoro-2-metilpentan-3-ona, y / o mediante el aumento de la presión de carga total o absoluta. En la figura 3a por ejemplo, una intensidad de campo de disrupción de alto voltaje de 440 kV / cm se logra a una presión de aproximadamente 7 bares (700 kPa) y una temperatura de aproximadamente 22 °C, siendo la relación molar de la fluorocetona de un 5 %. La misma intensidad de campo de disrupción se logra a una presión de menos de 2 bares (200 kPa), pero a una temperatura de 60 °C, siendo la relación molar de la fluorocetona de un 100 %.

En la figura 3b, por ejemplo, se logra una intensidad de campo de disrupción de medio voltaje de 50 kV / cm a una presión de carga absoluta de aproximadamente 0,8 bares (80 kPa) y una temperatura de aproximadamente -20 °C, siendo la relación molar de la fluorocetona de un 5 %. La misma intensidad de campo de disrupción se logra a una presión de aproximadamente 0,1 bar (10 kPa) y una temperatura de aproximadamente 5 °C, siendo la relación molar M de la fluorocetona de un 100 %.

La figura 3c muestra una vez más el intervalo de parámetros permisibles para el caso de una intensidad de campo de disrupción de alto voltaje de 440 kv / cm. La línea de trazos horizontal entre los puntos 1 y 2 representa la presión absoluta permisible máxima específica del aparato, en el presente caso por ejemplo de 6 bares (600 kPa). La línea de trazos vertical entre los puntos 2 y 3 representa la temperatura operativa permisible máxima, en el presente caso, por ejemplo de 105 °C. La curva de presión absoluta limitante para la relación molar M = 100 % se extiende entre los puntos 4 y 3. La curva trazada a través entre los puntos 1 y 4 es la curva de presión absoluta como una función de la temperatura y de la relación molar de la fluorocetona de la invención, en el presente caso, por ejemplo, dodecafluoro-2-metilpentan-3-ona, tal como se obtiene a partir de la figura 3a. El área encerrada, es decir, el área delimitada por las líneas que conectan en secuencia los puntos 1-2-3-4-1, define el intervalo de parámetros admisibles, en concreto las presiones de carga absolutas, las temperaturas operativas del medio de aislamiento deseado, y las relaciones molares (o de forma correspondiente las presiones parciales) de la fluorocetona de la invención para una intensidad de campo de disrupción o intensidad de campo eléctrico permisible seleccionada.

Tal como se ha mencionado en lo que antecede, el aparato eléctrico de la presente invención puede comprender una unidad de control (o "sistema de manejo de fluido") con el fin de adaptar la presión, la composición y / o la temperatura del medio aislante.

Como un ejemplo, en la figura 4 se muestra un equipo de conmutación de alto voltaje que comprende una unidad de control de temperatura. El equipo de conmutación 2 comprende un alojamiento 4 que define un espacio aislante 6 y una parte activa eléctrica 8 dispuesta en el espacio aislante 6. El equipo de conmutación 2 comprende además una unidad de control de temperatura 10a para ajustar el alojamiento 4, o por lo menos una parte del alojamiento 4, del equipo de conmutación y por lo tanto el medio aislante comprendido en el espacio aislante 6 a una temperatura deseada. Por supuesto, cualquier otra parte en contacto con el medio de aislamiento puede calentarse con el fin de llevar al medio de aislamiento a la temperatura deseada. Por lo tanto, la presión de vapor de la fluorocetona, y en consecuencia, su relación molar en el gas de aislamiento, así como la presión absoluta del gas de aislamiento puede adaptarse en consecuencia. Así mismo, tal como se muestra en la figura 4, la fluorocetona no se distribuye de manera homogénea en la presente realización por la totalidad del espacio aislante debido al gradiente de temperatura dado en el espacio de aislamiento. La concentración de la fluorocetona por lo tanto es mayor en la inmediata proximidad a las paredes 4' del alojamiento 4.

En la figura 5 se muestra de forma esquemática una unidad de control o sistema de manejo de fluido alternativo, en el cual se atribuye una unidad de manejo de fluido 10b al equipo de conmutación aislada con gas como la unidad de control. De acuerdo con esta unidad de control, la composición del medio aislante, y en particular su concentración de fluorocetona, se ajusta en una unidad de dosificación respectiva comprendida en la unidad de manejo de fluido 10b, y el medio de aislamiento resultante se inyecta o se introduce, en particular se pulveriza, en el espacio aislante 6. En la realización que se muestra en la figura 5, el medio de aislamiento se pulveriza en el espacio aislante en la forma de un aerosol 14 en el cual están dispersadas pequeñas gotas de fluorocetona líquida en el respectivo gas portador. El aerosol 14 se pulveriza en el espacio aislante 6 por medio de las boquillas 16 y la fluorocetona se evapora rápidamente, dando como resultado de este modo en el espacio aislante 6 una concentración no homogénea de fluorocetona, en concreto una concentración relativamente alta en la inmediata proximidad de la pared 4' del alojamiento que comprende las boquillas 16. De manera alternativa, el medio de aislamiento, en particular su concentración, presión y temperatura, pueden controlarse en la unidad de manejo de fluido 10b antes de que se inyecte en el espacio de aislamiento. Con el fin de asegurar la circulación del gas, se proporcionan unas aberturas 18 adicionales en la pared superior 4" del alojamiento 4, conduciendo dichas aberturas a un canal 20 en el alojamiento 4 y permitiendo que el medio aislante se retire del espacio aislante 6. El equipo de conmutación con la unidad de manejo de fluido 10b, tal como se muestra en la figura 5, puede combinarse con la unidad de control de temperatura 10a que se describe en conexión con la figura 4. Si no se proporciona unidad de control de temperatura alguna, puede tener lugar la condensación de la fluorocetona. La fluorocetona condensada puede recogerse y volver a introducirse en la circulación del medio de aislamiento.

En el contexto de los equipos de conmutación que se muestran en las figuras 4 y 5, se hace notar que la carga de corriente nominal facilita en general la vaporización de la fluorocetona por el calentamiento óhmico de los

conductores portadores de corriente.

**Lista de números de referencia**

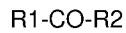
- 2 equipo de conmutación
- 4 alojamiento
- 5 4' pared de alojamiento
- 4" pared superior del alojamiento
- 6 espacio aislante
- 8 parte activa eléctrica
- 10a unidad de control de temperatura
- 10 10b unidad de manejo de fluido
- 14 aerosol
- 16 boquilla
- 18 abertura
- M relación molar de la fluorocetona

15

**REIVINDICACIONES**

5 1. Medio de aislamiento dieléctrico que comprende un gas de aislamiento, comprendiendo dicho gas de aislamiento en condiciones operativas una fluorocetona que tiene de 4 a 12 átomos de carbono, caracterizado por que la fluorocetona tiene un punto de ebullición de por lo menos -5 °C a presión ambiente y el gas de aislamiento es una mezcla de gases, que además comprende oxígeno.

2. Medio de aislamiento de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado por que la fluorocetona tiene la estructura general



10 en donde R1 y R2 son cadenas por lo menos parcialmente fluoradas, siendo dichas cadenas independientemente entre sí lineales o ramificadas y teniendo de 1 a 10 átomos de carbono.

3. Medio de aislamiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que la fluorocetona tiene de 4 a 10 átomos de carbono, de manera más preferente de 4 a 8 átomos de carbono, y de manera lo más preferente 6 átomos de carbono.

15 4. Medio de aislamiento de acuerdo con la reivindicación 3, caracterizado por que la fluorocetona es dodecafluoro-2-metilpentan-3-ona.

5. Medio de aislamiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que la relación molar de la fluorocetona en el gas de aislamiento es por lo menos de un 1 %, de manera preferente por lo menos de un 2 %, de manera más preferente por lo menos de un 5 %, de manera más preferente por lo menos de un 10 %, de manera lo más preferente por lo menos de un 15 %.

20 6. Medio de aislamiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que el gas de aislamiento es una mezcla de gases; que comprende además por lo menos un componente de aire seleccionado del grupo que consiste en dióxido de carbono y nitrógeno.

7. Medio de aislamiento dieléctrico que comprende un gas de aislamiento, comprendiendo dicho gas de aislamiento, en condiciones operativas, una fluorocetona que tiene de 4 a 12 átomos de carbono y que tiene la estructura general



en donde R1 y R2 son cadenas por lo menos parcialmente fluoradas, siendo dichas cadenas independientemente entre sí lineales o ramificadas y teniendo de 1 a 10 átomos de carbono, y siendo el gas de aislamiento una mezcla de gases que además comprende oxígeno.

30 8. Medio de aislamiento de acuerdo con la reivindicación 7, caracterizado por que la fluorocetona tiene un punto de ebullición de por lo menos -5 °C a presión ambiente.

9. Medio de aislamiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 7 a 8, caracterizado por que la fluorocetona tiene de 4 a 10 átomos de carbono, de manera más preferente de 4 a 8 átomos de carbono, y de manera lo más preferente 6 átomos de carbono.

35 10. Medio de aislamiento de acuerdo con la reivindicación 9, caracterizado por que la fluorocetona es dodecafluoro-2-metilpentan-3-ona.

11. Medio de aislamiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 7 a 10, caracterizado por que la relación molar de la fluorocetona en el gas de aislamiento es por lo menos de un 1 %, de manera preferente por lo menos de un 2 %, de manera más preferente por lo menos de un 5 %, de manera más preferente por lo menos de un 10 %, de manera lo más preferente por lo menos de un 15 %.

40 12. Medio de aislamiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 7 a 11, caracterizado por que el gas de aislamiento es una mezcla de gases, que comprende además aire o por lo menos un componente de aire seleccionado del grupo que consiste en dióxido de carbono y nitrógeno.

45 13. Medio de aislamiento dieléctrico que comprende un gas de aislamiento, comprendiendo dicho gas de aislamiento, en condiciones operativas, una fluorocetona, caracterizado por que la fluorocetona tiene 6 átomos de carbono y el gas de aislamiento es una mezcla de gases, que además comprende oxígeno.

14. Medio de aislamiento de acuerdo con la reivindicación 13, caracterizado por que la fluorocetona tiene la estructura general



50 en donde R1 y R2 son cadenas por lo menos parcialmente fluoradas, siendo dichas cadenas independientemente entre sí lineales o ramificadas y teniendo de 1 a 10 átomos de carbono.

15. Medio de aislamiento de acuerdo con la reivindicación 13 o 14, caracterizado por que la fluorocetona tiene un punto de ebullición de por lo menos -5 °C a presión ambiente.
- 5 16. Medio de aislamiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 13 a 15, caracterizado por que la fluorocetona es una cetona perfluorada que tiene la fórmula molecular  $C_6F_{12}O$ , y de forma lo más preferente es dodecafluoro-2-metilpentan-3-ona.
17. Medio de aislamiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 13 a 16, caracterizado por que la relación molar de la fluorocetona en el gas de aislamiento es por lo menos de un 1 %, de manera preferente por lo menos de un 2 %, de manera más preferente por lo menos de un 5 %, de manera más preferente por lo menos de un 10 %, de manera lo más preferente por lo menos de un 15 %.
- 10 18. Medio de aislamiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 13 a 17, caracterizado por que el gas de aislamiento es una mezcla de gases, que comprende además por lo menos un componente de aire seleccionado del grupo que consiste en dióxido de carbono y nitrógeno.
- 15 19. Aparato para la generación, la distribución o el uso de energía eléctrica, comprendiendo dicho aparato un alojamiento que define un espacio aislante y una parte activa eléctrica dispuesta en el espacio aislante, comprendiendo dicho espacio aislante un medio de aislamiento, caracterizado por el medio de aislamiento dieléctrico de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 18.
20. Aparato de acuerdo con la reivindicación 19, siendo el aparato un aparato de medio o de alto voltaje.
21. Aparato de acuerdo con la reivindicación 19 o 20, caracterizado por que el aparato es un equipo de conmutación, en particular un equipo de conmutación encapsulada con metal, aislada con aire o aislada con gas, o una parte o  
20 componente de la misma, en particular una barra colectora, un pasante, un cable, un cable aislado con gas, un empalme de cable, un transformador de corriente, un transformador de voltaje y / o un supresor de sobrecarga.
22. Aparato de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 19 a 21, caracterizado por que el aparato es un conmutador, en particular un conmutador de conexión a tierra, un desconectador, un conmutador de interrupción de carga y / o un interruptor automático.
- 25 23. Aparato de acuerdo con la reivindicación 22, caracterizado por que el aparato es un interruptor automático de alto voltaje que tiene una cámara de calentamiento para proporcionar un efecto de auto-exposición y por que en una operación de conmutación la fluorocetona se descompone en compuestos de fluorocarburo que tienen un menor número de átomos de carbono en la cámara de calentamiento durante una fase de recalentamiento.
- 30 24. Aparato de acuerdo con la reivindicación 23, caracterizado por que la fluorocetona tiene 6 átomos de carbono, y en particular es dodecafluoro-2-metilpentan-3-ona.
25. Aparato de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 19 a 21, caracterizado por que el aparato es un transformador, en particular un transformador de distribución o un transformador de potencia.
- 35 26. Aparato de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 19 a 21, caracterizado por que el aparato es una máquina rotatoria eléctrica, un generador, un motor, una unidad de impulsión, un dispositivo semiconductor, una máquina de cálculo, un dispositivo electrónico de potencia, y / o un componente de los mismos.
27. Aparato de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 19 a 26, caracterizado por que este comprende además una unidad de control para controlar de forma individual o en combinación una composición, una temperatura, una presión absoluta, una presión parcial, una densidad de gas y / o una densidad de gas parcial del medio aislante o por lo menos uno de sus componentes, respectivamente.
- 40 28. Aparato de acuerdo con la reivindicación 27, caracterizado por que la unidad de control comprende un calentador y / o vaporizador para controlar la presión parcial de la fluorocetona, y en particular, para mantener esta por encima de un nivel requerido de presión parcial.
- 45 29. Aparato de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 27 a 28, caracterizado por que la unidad de control (10a, 10b) comprende una unidad de control de temperatura (10a) que comprende un sistema de calentamiento para ajustar el alojamiento (4), o por lo menos una parte del alojamiento (4), del aparato a una temperatura deseada, y / o la unidad de control (10a, 10b) comprende una unidad de manejo de fluido (10b) para dosificar una concentración de la fluorocetona y para inyectar el medio de aislamiento resultante en el aparato.
- 50 30. Aparato de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 19 a 29, caracterizado por tener el aparato un volumen de reserva de fluorocetona líquida y / o un medio para limitar una temperatura operativa permisible máxima del medio de aislamiento deseado de tal modo que la presión de carga absoluta se mantenga por debajo de un límite determinado de presión del aparato.
31. Método para dimensionar un aparato eléctrico de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 19 a 29, caracterizado por las etapas de

- determinar para el aparato una intensidad de campo eléctrico permisible del medio de aislamiento deseado y una temperatura operativa permisible mínima del medio de aislamiento deseado,
  - determinar a partir de la intensidad de campo de disrupción reducida en presión del medio de aislamiento deseado como una función de la fracción molar de la fluorocetona y a partir de la intensidad de campo permisible, la curva de presión absoluta del medio de aislamiento como una función de la presión parcial de la fluorocetona,
- 5
- seleccionar una presión de carga absoluta deseada del medio de aislamiento,
  - determinar a partir de la curva de presión absoluta la presión parcial requerida mínima de la fluorocetona, y a partir de la curva de presión de vapor, la correspondiente temperatura de vaporización de la fluorocetona, y
- 10
- determinar si la temperatura de vaporización está por encima de la temperatura operativa permisible mínima del medio de aislamiento deseado.
32. Método para dimensionar un aparato eléctrico de acuerdo con la reivindicación 31, caracterizado por la etapa adicional de, si la temperatura de vaporización está por debajo de la temperatura operativa permisible mínima del medio de aislamiento deseado, proporcionar un sistema de manejo de fluido, en particular el sistema de manejo de fluido de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 27-30, que comprende de manera preferente un medio para el calentamiento y / o vaporizar y / o manejo de reserva de fluido de fluorocetona de fase líquida para mantener la presión parcial por encima de la presión parcial requerida mínima.
- 15

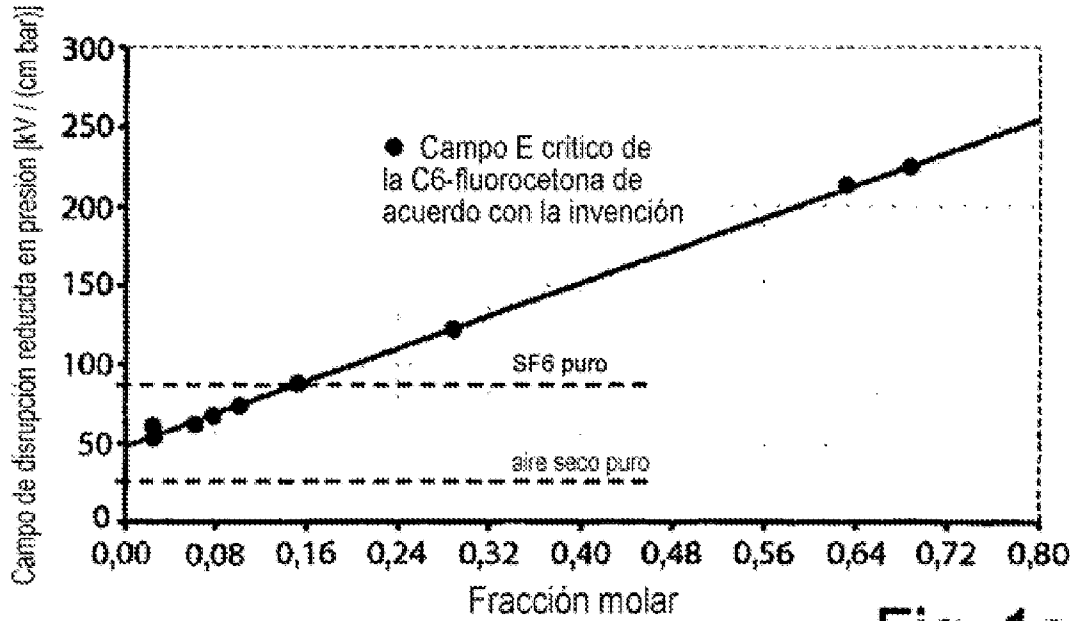


Fig. 1a

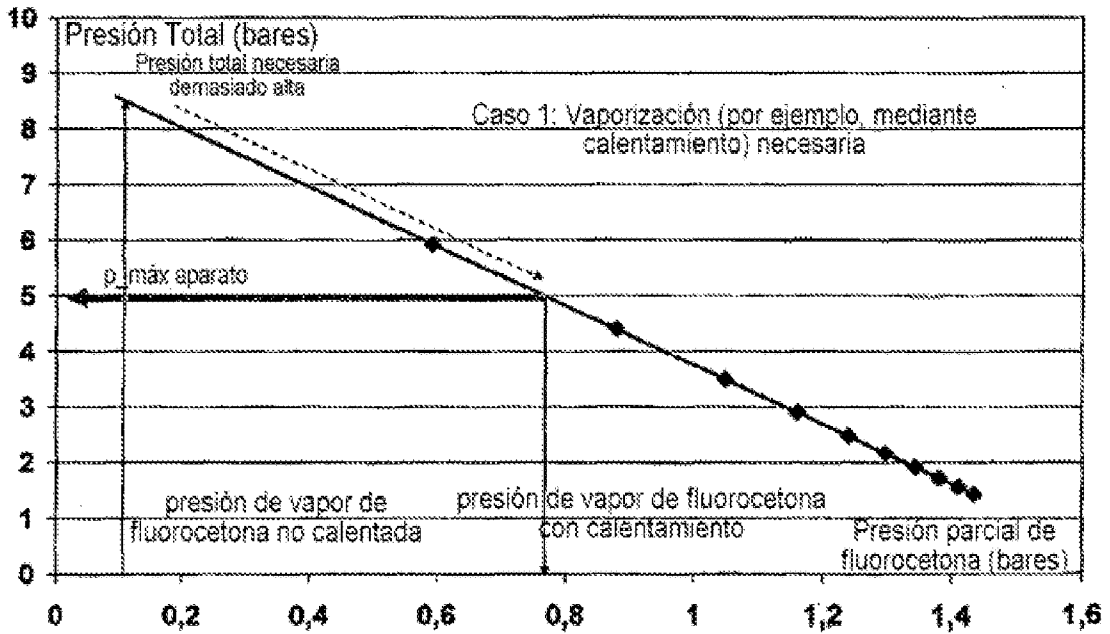


Fig. 1b

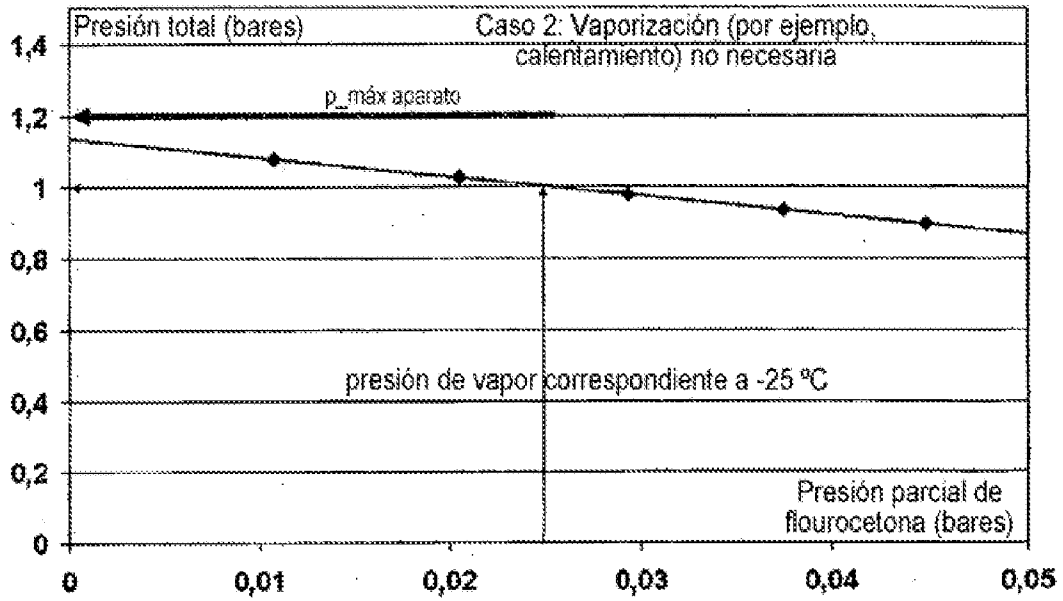


Fig. 1c

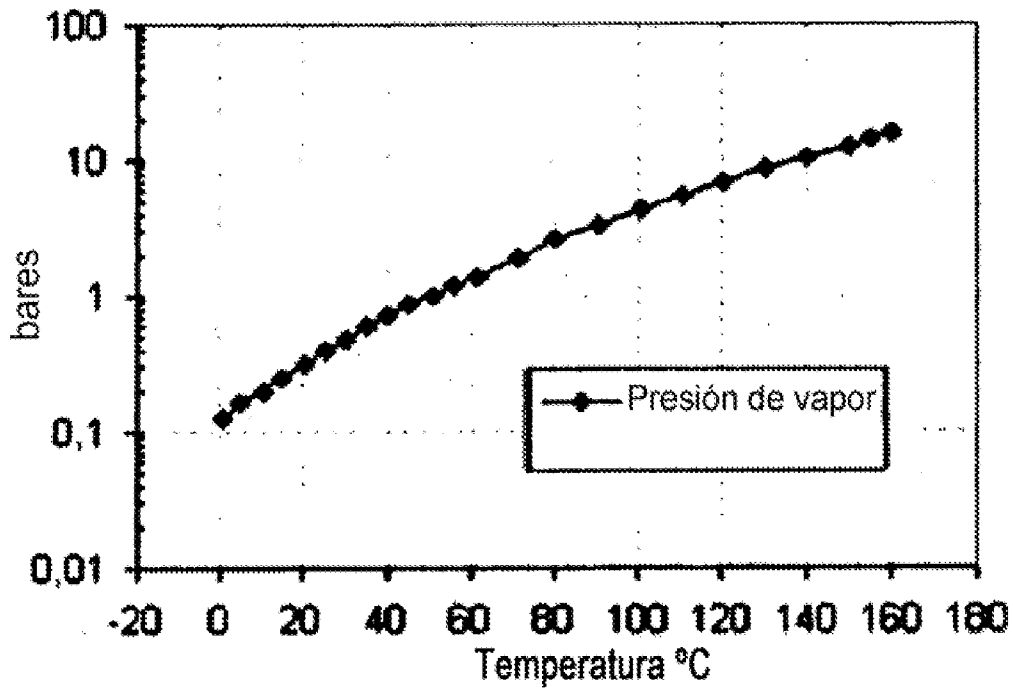


Fig. 2

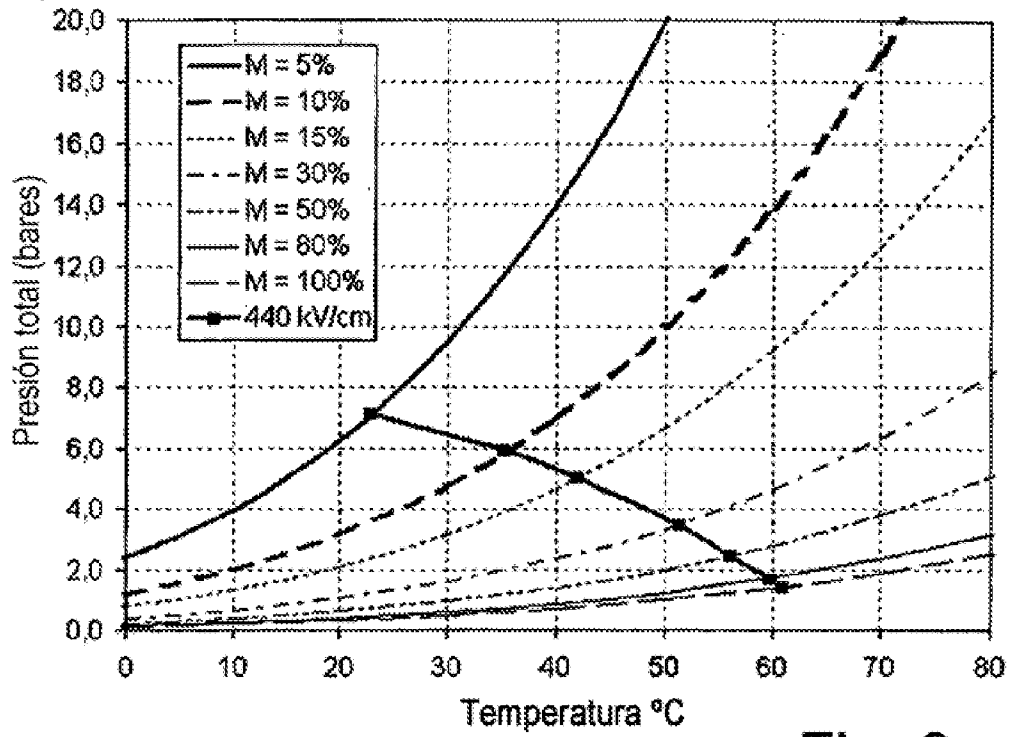


Fig. 3a

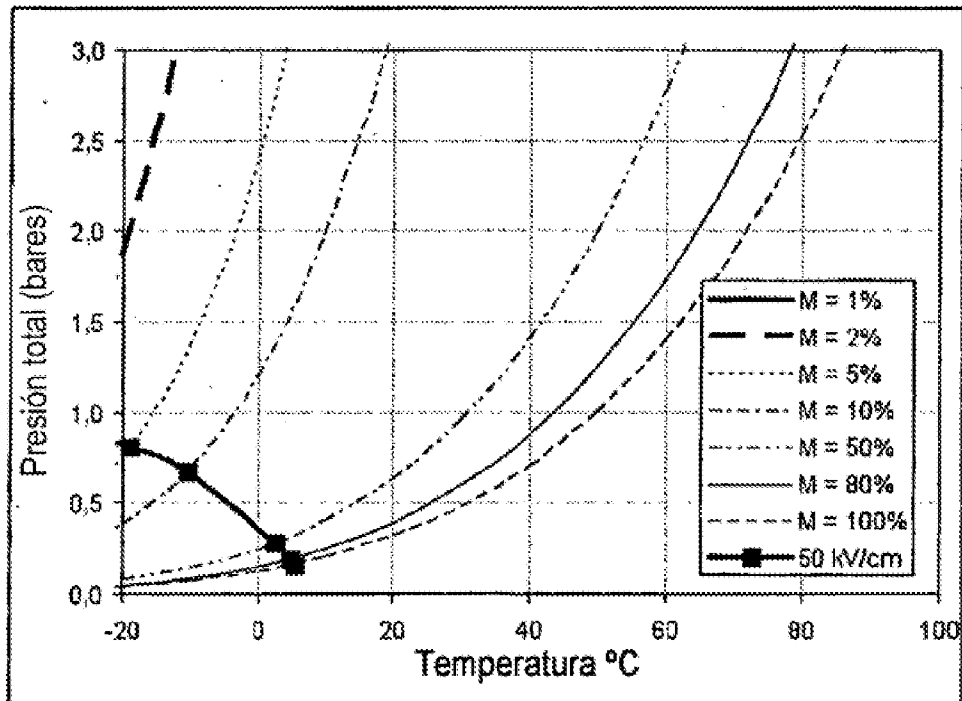


Fig. 3b

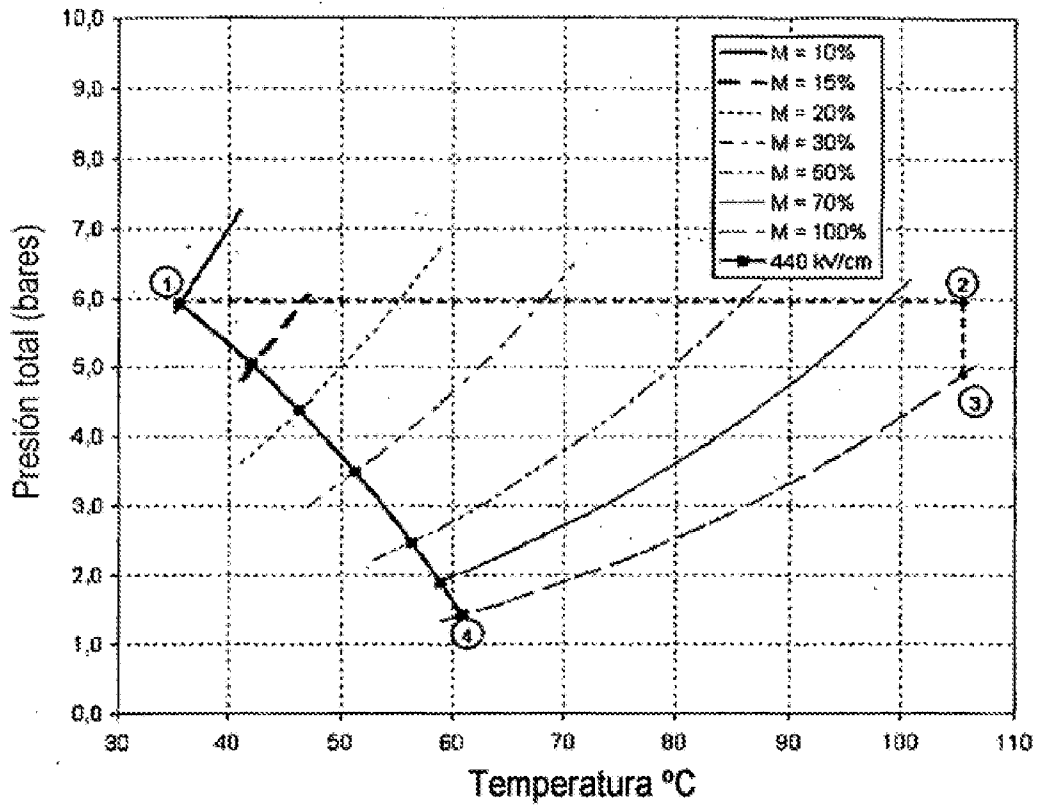


Fig. 3c

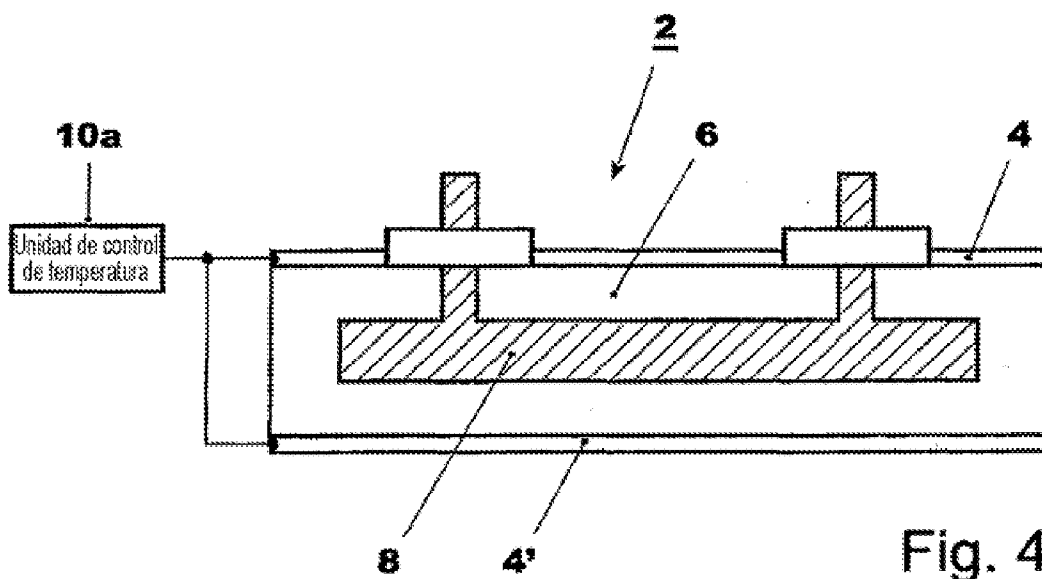


Fig. 4

