

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 920 149**

51 Int. Cl.:

**H01B 3/56** (2006.01)

**H02B 13/035** (2006.01)

**H02B 13/055** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **04.12.2019 E 19383076 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **13.04.2022 EP 3671764**

54 Título: **Sistema de aislamiento eléctrico de bajo impacto ambiental para aparellaje eléctrico de conmutación de media y alta tensión**

30 Prioridad:

**18.12.2018 ES 201831234**

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

**01.08.2022**

73 Titular/es:

**ORMAZABAL CORPORATE TECHNOLOGY, A.I.E.  
(100.0%)**

**Parque Empresarial Boroa Parcela 3A  
48340 Amorebieta-Etxano (Vizcaya), ES**

72 Inventor/es:

**LARRIETA ZUBIA, JAVIER y  
IZCARA ZURRO, JESÚS**

74 Agente/Representante:

**GONZÁLEZ PECES, Gustavo Adolfo**

**ES 2 920 149 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

Sistema de aislamiento eléctrico de bajo impacto ambiental para aparellaje eléctrico de conmutación de media y alta tensión

### Campo de la invención

5 La presente invención se enmarca en el campo de los sistemas de aislamiento eléctrico para su uso en aparellaje eléctrico de conmutación de media y alta tensión. Más particularmente, la invención se refiere a un sistema de aislamiento eléctrico que comprende dos elementos fundamentales:

- 10 a) un medio gaseoso formado por una mezcla de i) una o más fluorocetonas altamente fluoradas de entre 5 y 6 átomos de carbono, ii) una o más hidrofluoroolefinas no inflamables de 4 átomos de carbono, y iii) uno, dos o tres gases vectores seleccionados entre N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, aire seco, helio o mezclas de los mismos; y
- 15 b) un tamiz molecular capaz de adsorber de forma preferente las moléculas de agua frente a las moléculas de los gases vectores presentes en el medio gaseoso del sistema.

15 Asimismo, la invención se refiere al uso del sistema de aislamiento eléctrico, así como al aparellaje eléctrico de conmutación de media o alta tensión que comprende un recinto cerrado en cuyo interior se encuentran componentes eléctricos bajo tensión y un sistema de aislamiento eléctrico de acuerdo con la invención.

### Antecedentes de la invención

20 El aislamiento eléctrico en los equipos de media y alta tensión se garantiza normalmente mediante el uso de un gas dieléctrico que se introduce en un recinto cerrado y estanco en el que se encuentran los componentes bajo tensión de los equipos eléctricos.

El gas dieléctrico más empleado en los últimos años es el gas SF<sub>6</sub> debido a sus excelentes propiedades dieléctricas y, entre otras muchas ventajas más, a que no es tóxico para las personas. Sin embargo, este gas presenta un gran impacto ambiental debido a su alto potencial de efecto invernadero (GWP = 22800).

25 Por esta razón, en los últimos años se buscan gases alternativos que puedan sustituir a este gas en este tipo de equipos. Se han barajado diferentes gases alternativos al SF<sub>6</sub> con buenas propiedades dieléctricas, pero por una u otra razón (toxicidad no aceptable, alto poder de efecto invernadero, inflamabilidad etc.) no han sido implantados finalmente.

30 Asimismo, el empleo como medio dieléctrico en estos equipos únicamente de gases más amigables con el medio ambiente como el aire seco, el N<sub>2</sub>, el O<sub>2</sub> o el CO<sub>2</sub> supondría un considerable aumento del tamaño de estos equipos para un nivel de tensión dada, debido a la menor rigidez dieléctrica de estos gases frente al SF<sub>6</sub>. Otra opción en este caso sería aumentar la presión de llenado de los equipos a valores superiores a los empleados con SF<sub>6</sub> (alrededor de 1300 mbares), pero ello implicaría condicionar el diseño al cumplimiento de los distintos Reglamentos nacionales existentes para recipientes con presiones superiores a 1500 mbares con el consiguiente aumento de costo del equipo.

35 Una alternativa prometedora son las fluorocetonas no solo porque poseen una buena rigidez dieléctrica sino también porque algunas de ellas no son tóxicas para el ser humano y presentan un impacto ambiental muy inferior al del gas SF<sub>6</sub>. Los documentos WO2010/1460022 o WO2010/142346 ya describen de hecho el uso de fluorocetonas para el aislamiento eléctrico en aparatos de media y alta tensión.

40 Otros documentos como WO2012/160158 y WO2012/160155 describen mezclas de fluorocetonas con gases vectores como CO<sub>2</sub>, el N<sub>2</sub>, el O<sub>2</sub>, el aire o mezclas de ellos. También existen sistemas de aislamiento eléctrico que describen mezclas gaseosas que comprenden hidrofluoroolefinas de 3 átomos de carbono, como en el documento US 2015/214701 A1, y mezclas gaseosas que comprenden hidrofluoroolefinas de 4 átomos de carbono, como en el documento US 2018/247779 A1.

45 Otro problema que afecta negativamente a la capacidad dieléctrica de los sistemas gaseosos de aislamiento es la presencia de moléculas de agua procedentes de los materiales con los que se fabrican algunos componentes eléctricos del propio aparellaje de conmutación. El agua puede aparecer en el recinto cerrado y estanco del aparellaje de conmutación en el que se encuentra el gas aislante porque algunos materiales termoplásticos empleados en la fabricación de componentes eléctricos como, por ejemplo, las poliamidas pueden contener agua en su interior. Por ejemplo, en el caso de las poliamidas pueden tener absorbidas entre un 4,5 y un 7,5 % en peso de agua.

50 La presencia de agua en el medio gaseoso hace disminuir las propiedades dieléctricas del mismo por lo que se debe evitar su presencia. Para solventar el problema del agua presente en aparellajes eléctricos de conmutación se han usado desecantes y también tamices moleculares. Un tamiz molecular es un material que contiene poros pequeños de un tamaño preciso y uniforme, y que se usa como agente adsorbente para gases y líquidos. Las moléculas que son lo suficientemente pequeñas para pasar a través de los poros son adsorbidas, mientras que las moléculas mayores no. A diferencia de un filtro, el proceso funciona a nivel molecular. Por ejemplo, una molécula de agua puede ser lo suficientemente pequeña para pasar, mientras que otras moléculas más grandes no pueden hacerlo.

55

En sistemas de aislamiento con gas SF<sub>6</sub> como único gas aislante la separación del agua es relativamente sencilla mediante tamices moleculares ya que el tamaño de la molécula de SF<sub>6</sub> es sustancialmente mayor que el de la molécula de agua y por tanto la selección por tamaños de molécula no representa un problema importante.

5 Sin embargo, este problema no es tan fácil de resolver en sistemas gaseosos de aislamiento en los cuales existen moléculas de tamaños comparables a los de la molécula de agua como por ejemplo gases vectores como el N<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, aire seco junto con aislantes como fluorocetonas. En este tipo de aislantes dieléctricos los gases que actúan como vectores (CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, aire, O<sub>2</sub> etc.) tienen tamaños moleculares similares a los de la molécula del agua y los tamices pueden adsorber parte de estos gases en vez de las moléculas de agua.

10 El documento WO 2016/116637 de los autores de la presente invención resolvió este problema mediante un medio gaseoso formado por una o más fluorocetonas, otro gas dieléctrico adicional, particularmente fluoronitrilo y por uno o más gases vectores y un tamiz molecular de unas determinadas características.

15 Existe, no obstante, la necesidad de desarrollar sistemas de aislamiento para aparellaje eléctrico de conmutación de media y alta tensión a base de gases o mezclas gaseosas que permitan, además de ejercer su función principal de aislamiento eléctrico, proporcionar características mejoradas en cuanto a seguridad, impacto ambiental o durabilidad que aumenten la versatilidad de los sistemas de aislamiento existentes y permitan aumentar la adaptabilidad de los sistemas de aislamiento al mayor número de condiciones de trabajo posible a las cuales los sistemas o aparellaje de conmutación de media y alta tensión se pueden ver sometidos.

20 Una alternativa son los sistemas a base de mezclas de fluorocetonas e hidrofluoroolefinas ambos gases con una alta rigidez dieléctrica. El documento WO2013/041695 describe medios gaseosos de aislamiento eléctrico a base de mezclas en mezclas compuestas por una hidrofluoroolefina de 3 átomos de carbono, como por ejemplo HFO-1234ze o HFO-1234yf, y una fluorocetona de 5 átomos de carbono. Las hidrofluoroolefinas de 3 átomos de carbono HFO-1234ze o HFO-1234yf tienen, sin embargo, el problema de que pueden ser inflamables a ciertas concentraciones y temperaturas de funcionamiento del aparellaje eléctrico de conmutación de media y alta tensión a la cual se dirigen los sistemas de aislamiento descritos en el presente documento.

25 Los autores de la presente invención han desarrollado un sistema de aislamiento eléctrico para aparellaje de conmutación de media y alta tensión a base de una mezcla de fluorocetonas e hidrofluoroolefinas que mantiene o incluso mejora la rigidez dieléctrica de sistemas similares pero que disminuye el riesgo de ignición frente a la mezcla gaseosa descrita en el documento WO2013/041695 y que además permite que la capacidad de aislamiento dieléctrico no se vea afectada por la presencia de agua que pueda aparecer en el interior de los recintos cerrados de dicho aparellaje eléctrico de conmutación, en el que se encuentran los componentes eléctricos aislados con los gases dieléctricos. Además, el sistema de la presente invención posee excelentes características medioambientales y una muy baja toxicidad.

### Objeto de la invención

35 Es por tanto un objeto de la invención un sistema de aislamiento eléctrico de bajo impacto ambiental para aparellaje eléctrico de conmutación de media o alta tensión que representa una solución a los problemas antes planteados. De manera más particular el objeto principal de la presente invención es un sistema de aislamiento eléctrico para aparellaje eléctrico de conmutación de media o alta tensión que comprende:

a) un medio gaseoso formado por una mezcla de:

- 40 i) una o más fluorocetonas de entre 5 y 6 átomos de carbono;  
ii) una o más hidrofluoroolefinas no inflamables de 4 átomos de carbono; y  
iii) uno, dos o tres gases vectores seleccionados entre N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, aire seco, helio o mezclas de los mismos;

b) un tamiz molecular con un tamaño de poro de 3 a 6 Å y una superficie polar.

Otro objeto de la invención es el uso del sistema de aislamiento eléctrico de la invención para el aislamiento eléctrico y/o para la extinción de arcos eléctricos en aparellaje eléctrico de conmutación de media o alta tensión.

45 Un objeto adicional de la invención es un procedimiento para el aislamiento eléctrico y/o la extinción de arcos eléctricos en aparellaje eléctrico de conmutación de media y alta tensión que comprende la introducción del sistema de aislamiento eléctrico en un recinto cerrado y estanco en el que se hallen los componentes eléctricos bajo tensión de dicho aparellaje eléctrico de conmutación de media o alta tensión.

50 Un último objeto de la presente invención es un aparellaje eléctrico de conmutación de media o alta tensión que comprende un recinto cerrado en cuyo interior se encuentran componentes eléctricos bajo tensión y un sistema de aislamiento eléctrico de acuerdo con la presente invención.

### Breve descripción de las figuras

**Figura 1:** representación de la estructura de la zeolita A.

**Figura 2:** representación de la ubicación de los cationes de sodio en la estructura A de la zeolita.

**Figura 3:** equipo BAUR DTA-100E que sirve para la determinación de la rigidez dieléctrica de sistemas gaseosos de aislamiento eléctrico.

### Descripción detallada de la invención

5 Un primer objeto de la invención se refiere a un sistema de aislamiento eléctrico para aparellaje eléctrico de conmutación de media o alta tensión que comprende:

a) un medio gaseoso formado por una mezcla de:

- i) una o más fluorocetonas de entre 5 y 6 átomos de carbono;
- ii) una o más hidrofluoroolefinas no inflamables de 4 átomos de carbono; y
- iii) uno, dos o tres gases vectores seleccionados entre N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, aire seco, helio o mezclas de los mismos;

10 b) un tamiz molecular con un tamaño de poro de 3 a 6 Å y una superficie polar.

El primer elemento del sistema de aislamiento eléctrico de la invención es el medio gaseoso. Dentro de este medio gaseoso uno de los elementos esenciales son las fluorocetonas de entre 5 y 6 átomos de carbono.

15 En una realización particular y preferente de la invención las fluorocetonas tienen respectivamente las fórmulas estructurales CF<sub>3</sub>-CO-CF-(CF<sub>3</sub>)<sub>2</sub> (a la que nos referiremos como C5K) y CF<sub>3</sub>-CF<sub>2</sub>-CO-CF-(CF<sub>3</sub>)<sub>2</sub> (a la que nos referiremos como C6K). La razón por la cual estas dos fluorocetonas son especialmente preferentes es porque son productos con una buena rigidez dieléctrica, con muy bajo poder de efecto invernadero (*global warming potential* o GWP =1) y además no son tóxicas. Por ejemplo, para la fluorocetona C5K el valor límite ambiental de exposición diaria, VLA-ED (8 horas), es de 225 ppmv.

20 El segundo elemento esencial del medio gaseoso serían las hidrofluoroolefinas de 4 átomos de carbono. De manera particular, las hidrofluoroolefinas de 4 átomos de carbono preferentes son el cis-1,1,1,4,4,4-hexafluoro-2-buteno (HFO-1336mzzZ) y el trans-1,1,1,4,4,4-hexafluoro-2-buteno (HFO-1336mzzE).

25 Estas dos hidrofluoroolefinas tienen igualmente un poder de efecto invernadero muy bajo, concretamente la HFO-1336mzzZ tiene un GWP de 2 y la HFO-1336mzzE tiene un GWP de 18, y sus niveles de toxicidad son suficientemente bajos para poder ser aplicadas de forma segura en equipos eléctricos de media y alta tensión. Por ejemplo, para la hidrofluoroolefina HFO-1336mzzZ el valor límite ambiental de exposición diaria, VLA-ED (8 horas), es de 500 ppmv.

30 Pero, además, una ventaja especialmente relevante de las hidrofluoroolefinas de 4 átomos de carbono y, de manera particular, tanto de la hidrofluoroolefina HFO-1336mzzZ como de la HFO-1336mzzE, es que no son inflamables, esto es, no presentan límites de inflamabilidad a temperaturas de funcionamiento habituales de los equipos eléctricos de media y alta tensión. A diferencia de las hidrofluoroolefinas de 3 átomos de carbono que sí presentan límites de inflamabilidad a dichas temperaturas. Así, por ejemplo, la hidrofluoroolefina de 3 átomos de carbono HFO-1234yf presenta a 21 °C un límite inferior de inflamabilidad del 6,2 % (% vol. en aire) y un límite superior de inflamabilidad de 12,3 % (% vol. en aire) s/ASTM E681-01. La hidrofluoroolefina de 3 átomos de carbono HFO-1234zeE no presenta límites de inflamabilidad a 21 °C, pero sí por encima de los 30 °C, de manera que por ejemplo a 60 °C el límite inferior de inflamabilidad es del 5,7 % (% vol. en aire) y el límite superior de inflamabilidad es de 11,3 % (% vol. en aire) s/ASTM E681-01. Esto hace que los sistemas a base de mezclas con hidrofluoroolefinas de 3 átomos de carbono, como las anteriormente mencionadas; no sean seguros a determinadas condiciones de trabajo. Por ejemplo, de los datos anteriores se deduce que una mezcla formada por un 10 % C5K + 8 % HFO-1234zeE + AIRE SECO (es decir, con un 9,75 % de HFO-1234zeE en aire) sería inflamable a 60 °C, mientras que la mezcla con un 10 % C5K + 8 % HFO-1336mzzZ + AIRE SECO no sería inflamable 60 °C.

40 Por el contrario, el uso de hidrofluoroolefinas de 4 átomos de carbono permite que el sistema mixto de fluorocetonas y hidrofluoroolefinas de la presente invención tengan un grado superior de seguridad a los ya existentes como por ejemplo el descrito en el documento WO2013/041695.

45 El último elemento de la mezcla gaseosa del sistema de aislamiento eléctrico de la invención es el o los **gases vectores**. Como gases vectores se conocen a los gases usados para diluir la o las fluorocetonas y la o las hidrofluoroolefinas, y que, aunque poseen una rigidez dieléctrica menor permiten que el medio gaseoso se comporte como tal a bajas temperaturas. Por otro lado, suelen ser gases completamente inocuos (no tóxicos) y generalmente con un impacto ambiental reducido. Los gases vectores pueden ser variados como N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, aire seco, helio o mezclas de ellos. De manera particular y preferente, los gases vectores se seleccionan en el sistema de la presente invención entre N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, aire seco o mezclas de los mismos.

50 Una realización particular y preferente de la invención se refiere a un sistema de aislamiento eléctrico en el que la mezcla gaseosa comprende una fluorocetona, de 5 o 6 átomos de carbono, más preferiblemente la fluorocetona C5K, una o más hidrofluoroolefinas de 4 átomos de carbono y uno o más gases vectores. En esta realización de manera preferente los gases vectores se seleccionan entre N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, aire seco o mezclas de los mismos.

La rigidez dieléctrica total de la mezcla gaseosa vendrá influenciada por la cantidad de fluorocetona o fluorocetonas y

de hidrofluoroolefina o hidrofluoroolefinas de 4 átomos de carbono, de manera que cuanto más fluorocetona(s) y más hidrofluoroolefina(s) haya en la mezcla gaseosa mayor será su rigidez dieléctrica.

5 Sin embargo, la cantidad de fluorocetona y de hidrofluoroolefina de 4 átomos de carbono en la mezcla gaseosa viene condicionada por la temperatura mínima de funcionamiento del aparellaje de conmutación en el que se vaya a emplear. De manera general, cuanto menor sea la temperatura mínima de funcionamiento del aparellaje eléctrico de conmutación menor cantidad de fluorocetonas y de hidrofluoroolefinas de 4 átomos de carbono se podrá meter en la mezcla gaseosa ya que es deseable evitar su condensación parcial a bajas temperaturas.

El otro elemento fundamental del sistema de aislamiento eléctrico de la invención, aparte del medio gaseoso, es un tamiz molecular con un tamaño de poro de 3 a 6 Å y una superficie polar.

10 Un tamiz molecular como ya se apuntaba más arriba es un material que contiene poros pequeños de un tamaño preciso y uniforme que se usa como adsorbente para gases y para líquidos. Los tamices moleculares son capaces de discriminar a nivel de tamaño molecular de modo que las moléculas que son lo suficientemente pequeñas para pasar a través de los poros son adsorbidas mientras que las moléculas mayores no lo son.

15 El uso del tamiz molecular en el sistema de aislamiento eléctrico de la invención se justifica por la necesidad de adsorber las moléculas de agua presentes en los materiales de algunos componentes que forman el aparellaje eléctrico de conmutación ya que la presencia de dichas moléculas afecta negativamente a la rigidez dieléctrica y por tanto a la capacidad como aislante de la mezcla gaseosa con fluorocetonas e hidrofluoroolefinas.

20 Los tamices moleculares tienen una gran capacidad de adsorción de agua que en algunos casos puede llegar hasta el 22 % de su propio peso en agua. No obstante, debido a que las moléculas de los gases vectores (N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, aire seco o helio) de la mezcla gaseosa del sistema de aislamiento tienen un tamaño molecular similar al de la molécula de agua, es preciso que el tamiz molecular tenga capacidad de separar selectivamente las moléculas de agua frente a las de estos gases.

25 Para ello los inventores han descubierto que el uso de un tamiz molecular con un tamaño de poro de 3 a 6 Å y una superficie polar permite hacer esta discriminación y adsorber selectivamente las moléculas de agua frente a moléculas de N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, aire seco o helio, haciendo que el sistema de aislamiento eléctrico de la invención no vea alterada o deteriorada su rigidez dieléctrica.

30 Esta capacidad selectiva hacia el agua de los tamices del sistema de aislamiento eléctrico de la invención proviene no solo del tamaño del poro sino, además, y especialmente para el caso de moléculas de tamaño similar a la de agua, de la superficie polar de los tamices moleculares. El hecho de que la superficie sea polar hace que atraiga con más apetencia aquellas moléculas más polares con preferencia sobre las menos polares.

La Tabla 1 describe tanto el tamaño como la polaridad de determinadas moléculas:

**Tabla 1.**

| Producto                                  | Tamaño de la molécula, Angstroms | polaridad |
|---|----------------------------------|-----------|
| Helio                                     | 2,551                            | 10,2      |
| Aire                                      | 3,711                            | 78,6      |
| Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )     | 3,941                            | 195,2     |
| Agua (H <sub>2</sub> O)                   | 2,641                            | 809,1     |
| Nitrógeno (N <sub>2</sub> )               | 3,798                            | 71,4      |
| Oxígeno (O <sub>2</sub> )                 | 3,467                            | 106,7     |
| Hexafluoruro de azufre (SF <sub>6</sub> ) | 5,128                            | 222,1     |
| Fluorocetona C5K                          | 9.000 aprox.                     |           |
| Hidrofluoroolefina HFO-1336mzzZ           | > 6.500 aprox.                   |           |

35 A partir de estos datos es fácil entender que por ejemplo será fácil discriminar por tamaño la adsorción de las moléculas de agua frente a moléculas de por ejemplo SF<sub>6</sub>, de fluorocetona o de hidrofluoroolefina, sin embargo, no lo es tanto frente a moléculas de los gases vectores como helio, O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> o aire cuyos tamaños son parecidos. Frente a estas moléculas si es relevante la polaridad del agua mucho mayor que la de los otros gases vectores. Esta característica de las moléculas de agua es la que hace que estas sean adsorbidas de manera preferente frente al resto cuando la superficie del tamiz es polar.

40 Hay tamices moleculares de diferente naturaleza como las zeolitas que son aluminosilicatos, vidrios porosos, arcillas,

carbones microporosos, carbones activados, etc. En principio cualquier tamiz molecular es apropiado para su uso en el sistema de aislamiento eléctrico de la invención siempre y cuando cumpla con que el tamaño de poro sea de entre 3 a 6 Å y posea una superficie polar.

No obstante, en una realización preferente de la invención el tamiz molecular posee un tamaño de poro de 3 a 4 Å.

- 5 También en una realización preferente el tamiz molecular es un tamiz de zeolita. La zeolita puede ser natural y preferiblemente zeolita sintética. Las zeolitas son aluminosilicatos que pueden presentar diferentes estructuras como la zeolita A, zeolita X, zeolita Y, etc.

10 En la realización preferente de la invención la zeolita tiene estructura A. En la figura 1 se puede observar la estructura de la Zeolita A. Los átomos de aluminio, silicio y oxígeno se asocian para formar unos octaedros truncados llamadas jaulas de sodalita. Las jaulas de sodalita se combinan en la Zeolita A en forma de cubo simple dejando un espacio interior llamado jaula  $\alpha$  con una cavidad de 11,5 Å de diámetro accesible desde las aperturas de los seis lados del cubo. Estas entradas están rodeadas por 8 átomos de oxígeno y uno o más cationes intercambiables bloquean parcialmente el área frontal. Cuando los cationes son de Sodio ( $\text{Na}^+$ ) (ver figura 2) el anillo de átomos de oxígeno proporciona una "ventana" de 4,2 Å de diámetro para entrar al interior de la estructura (jaula  $\alpha$ ). Los cationes de sodio pueden ser parcialmente sustituidos por otros cationes en zeolitas sintéticas como por ejemplo por potasio ( $\text{K}^+$ ) o calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) dando lugar a aperturas de 3 Å y 5 Å respectivamente.

15 Además de contribuir a determinar el diámetro de apertura de los poros que, sin duda, es de relevancia en la discriminación molecular de los gases adsorbidos por las Zeolitas, contribuyen a que haya en la estructura cristalina de la zeolita cargas positivas y negativas rígidamente establecidas que resultan en una distribución desigual de las cargas lo que crea que la superficie sea polar. Esta característica de la zeolita es precisamente la que permite adsorber con preferencia moléculas de agua frente a otras moléculas de gases vectores como  $\text{N}_2$ ,  $\text{O}_2$ , aire seco o helio.

Otro objeto adicional de la invención viene representado por el uso de un sistema de aislamiento eléctrico como el anteriormente descrito para el aislamiento eléctrico y/o para la extinción de arcos eléctricos en aparellaje eléctrico de conmutación de media o alta tensión.

25 El medio gaseoso que comprende una mezcla de una o más fluorocetonas de 5 y 6 átomos de carbono, una o más hidrofluoroolefinas de 4 átomos de carbono y uno o más gases vectores, proporciona una rigidez dieléctrica al sistema que el tamiz molecular con un tamaño de poro de 3 a 6 Å y una superficie polar se encarga de mantener debido a que es capaz de adsorber selectivamente las moléculas de agua que pueden aparecer en el medio gaseoso procedentes de algunos de los elementos del aparellaje eléctrico de conmutación de media y alta tensión que se encuentran en el recinto cerrado y estanco de dicho aparellaje de conmutación. Es por ello, que el sistema de la invención es de gran utilidad en el aislamiento eléctrico y es capaz de extinguir arcos eléctricos en este tipo de aparellaje eléctrico de conmutación.

30 Otro objeto adicional de la invención de alguna manera relacionado con el uso del sistema de aislamiento eléctrico de la invención se refiere a un procedimiento para el aislamiento eléctrico y/o la extinción de arcos eléctricos en aparellaje eléctrico de conmutación de media y alta tensión que comprende la introducción de un sistema de aislamiento eléctrico que comprende:

a) un medio gaseoso formado por una mezcla de:

- 40 i) una o más fluorocetonas de entre 5 y 6 átomos de carbono;  
ii) una o más hidrofluoroolefinas no inflamables de 4 átomos de carbono; y  
iii) uno, dos o tres gases vectores seleccionados entre  $\text{N}_2$ ,  $\text{O}_2$ , aire seco, helio o mezclas de los mismos;

b) un tamiz molecular con un tamaño de poro de 3 a 6 Å y una superficie polar.

en un recinto cerrado y estanco en el que se hallen los elementos que se vayan a aislar de dicho aparellaje eléctrico de conmutación de media o alta tensión.

45 Para ello inicialmente se colocan dentro del recinto una o más bolsas permeables a los gases y que contienen el tamiz molecular. Posteriormente se cierra el recinto de manera que sea perfectamente estanco y se le hace vacío. A continuación, se introduce la mezcla gaseosa con la o las fluorocetonas, la o las hidrofluoroolefinas de 4 átomos de carbono y el o los gases vectores hasta alcanzar la presión deseada.

50 Un último objeto de la invención se refiere a aparellaje eléctrico de conmutación de media o alta tensión que comprende un recinto cerrado en cuyo interior se encuentran componentes eléctricos bajo tensión y un sistema de aislamiento eléctrico que comprende:

a) un medio gaseoso formado por una mezcla de:

- i) una o más fluorocetonas de entre 5 y 6 átomos de carbono;  
ii) una o más hidrofluoroolefinas no inflamables de 4 átomos de carbono; y  
iii) uno, dos o tres gases vectores seleccionados entre  $\text{N}_2$ ,  $\text{O}_2$ , aire seco, helio o mezclas de los mismos;

b) un tamiz molecular con un tamaño de poro de 3 a 6 Å y una superficie polar.

La figura 3 es un sistema de ensayo para la determinación experimental de la rigidez dieléctrica de sistemas gaseosos de aislamiento.

5 En una realización particular de la invención dicho aparellaje de conmutación puede ser una celda de distribución secundaria para redes de distribución eléctrica de hasta 72 kV.

A continuación, se presentan ejemplos que permiten entender las posibles realizaciones de la invención:

**Ejemplo 1: Exposición detallada sobre las realizaciones de la invención**

10 Como realización preferente de esta invención se propone un sistema de aislamiento eléctrico dentro de un recinto cerrado y estanco que forma parte de un aparellaje eléctrico de conmutación de media o alta tensión, que comprende un tamiz molecular zeolítico con un tamaño de entre 3 a 6 Å, preferentemente entre 3Å y 4Å y además una mezcla gaseosa que comprende:

- 15 a) una fluorocetona completamente fluorada con formula estructural  $CF_3-COCF-(CF_3)_2$  (que se denominará C5K) y
- b) opcionalmente también otra fluorocetona completamente fluorada con formula estructural  $CF_3-CF_2-CO-CF-(CF_3)_2$  (que se denominará C6K),
- c) al menos una hidrofluoroolefina de cuatro átomos de carbono, como por ejemplo la HFO-1336mzzZ
- d) y además de otro gas o gases vectores como, por ejemplo,  $N_2$ , aire seco,  $O_2$  o helio o cualquier combinación de ellos.

20 Las dos fluorocetonas mencionadas son productos con una buena rigidez dieléctrica, con muy bajo poder de efecto invernadero (GWP=1) y además no son tóxicas. Por ejemplo, para la fluorocetona C5K el valor límite ambiental de exposición diaria, VLA-ED (8horas), es de 225 ppmv.

La presencia en la mezcla gaseosa de una hidrofluoroolefina de 4 átomos de carbono como la HFO-1336mzzZ o la HFO-1336mzzE permite aumentar de manera sustancial la rigidez dieléctrica de la mezcla sin afectar negativamente a otros parámetros de funcionamiento.

25 La rigidez dieléctrica del sistema de aislamiento además de verse mejorada por la presencia del tamiz molecular selectivo empleado debido a la reducción de agua en el mismo también vendrá influenciada por el porcentaje de fluorocetona o fluorocetonas y por el porcentaje de hidrofluoroolefina de 4 átomos de carbono empleados en la mezcla gaseosa. De manera que cuanta más fluorocetona e hidrofluoroolefina de 4 átomos de carbono haya en la mezcla gaseosa mayor será su rigidez dieléctrica, para una presión final de llenado determinada. Sin embargo, como se ha mencionado anteriormente la cantidad de fluorocetona y de hidrofluoroolefina de 4 átomos de carbono en la mezcla gaseosa viene condicionada por la temperatura mínima de funcionamiento del aparellaje de conmutación si se quiere evitar su condensación a bajas temperaturas (lo que conllevaría una reducción de las propiedades dieléctricas de la mezcla gaseosa a esas bajas temperaturas).

35 En las dos siguientes tablas se muestran los valores de fracción molar de las fluorocetonas C5K y C6K, y de las hidrofluoroolefinas HFO-1336mzzZ y HFO-1336mzzE que se podrían emplear en la mezcla gaseosa sin que se produjera condensación de la misma para diferentes temperaturas mínimas de funcionamiento del aparellaje de conmutación, suponiendo una temperatura de llenado del aparellaje de conmutación de 20 °C y con una presión total de llenado de la mezcla de 1400 mbares.

**Tabla 2. Mezclas con fluorocetona C5K**

| Temp. (°C) | Pvs, C5K (bar) | P, C5K (bar) | X, C5K |
|------------|----------------|--------------|--------|
| -40        | 0,036          | 0,045        | 0,032  |
| -35        | 0,049          | 0,061        | 0,043  |
| -30        | 0,067          | 0,081        | 0,058  |
| -25        | 0,090          | 0,107        | 0,076  |
| -20        | 0,120          | 0,139        | 0,099  |
| -15        | 0,157          | 0,178        | 0,127  |
| -10        | 0,203          | 0,226        | 0,162  |
| -5         | 0,260          | 0,284        | 0,203  |
| 0          | 0,329          | 0,354        | 0,253  |

Tabla 3. Mezclas con fluorocetona C6K

| Temp. (°C) | Pvs, C6K (bar) | P, C6K (bar) | X, C6K |
|------------|----------------|--------------|--------|
| -40        | 0,015          | 0,018        | 0,0131 |
| -35        | 0,020          | 0,025        | 0,0177 |
| -30        | 0,027          | 0,033        | 0,0235 |
| -25        | 0,037          | 0,043        | 0,0309 |
| -20        | 0,049          | 0,056        | 0,0401 |
| -15        | 0,064          | 0,072        | 0,0516 |
| -10        | 0,083          | 0,092        | 0,0657 |
| -5         | 0,106          | 0,116        | 0,0829 |
| 0          | 0,135          | 0,145        | 0,1037 |

Tabla 4. Mezclas con HFO-1336mzzZ

| Temp. (°C) | Pvs, HFOZ (bar) | P, HFOZ (bar) | X, HFOZ |
|------------|-----------------|---------------|---------|
| -40        | 0,023           | 0,029         | 0,0211  |
| -35        | 0,033           | 0,041         | 0,0292  |
| -30        | 0,046           | 0,056         | 0,0398  |
| -25        | 0,063           | 0,075         | 0,0534  |
| -20        | 0,085           | 0,099         | 0,0706  |
| -15        | 0,114           | 0,129         | 0,0921  |
| -10        | 0,149           | 0,166         | 0,1186  |
| -5         | 0,193           | 0,211         | 0,1508  |
| 0          | 0,247           | 0,266         | 0,1897  |

5

Tabla 5. Mezclas con HFO-1336mzzE

| Temp. (°C) | Pvs, HFOE (bar) | P, HFOE (bar) | X, HFOE |
|------------|-----------------|---------------|---------|
| -30        | 0,162           | 0,195         | 0,1395  |
| -20        | 0,290           | 0,336         | 0,2399  |
| -10        | 0,490           | 0,546         | 0,3899  |
| 0          | 0,740           | 0,794         | 0,5673  |

en la que:

- Pvs,C5k** y **Pvs,C6K**, **Pvs,HFOZ** y **Pvs,HFOE** son las presiones de vapor de saturación de las fluorocetonas C5K y C6K y de las hidrofluoroolefinas HFO-1336mzzZ y HFO-1336mzzE a diferentes valores de temperatura,  
**P,C5K** y **P,C6K** y **P,HFOZ** y **P,HFOE** son los valores de presión de las fluorocetonas C5K y C6K y de las hidrofluoroolefinas HFO-1336mzzZ y HFO-1336mzzE en el aparellaje de conmutación a la temperatura de llenado de 20 °C ( $P,C5K = Pvs,C5K \times 293,15/Tmín(K)$ )  
**X,C5K** y **X,C6K** y **X,HFOZ** y **X,HFOE** son las fracciones molares de las fluorocetonas C5K y C6K y de las hidrofluoroolefinas HFO-1336mzzZ y HFO-1336mzzE en la mezcla final (para una presión de llenado final de 1400 mbares) que podrían emplearse sin que se produjera condensación de las mismas incluso a la temperatura mínima de funcionamiento del aparellaje de conmutación.

Por ejemplo, para un aparellaje de conmutación de media tensión con una presión de llenado a 20 °C de 1,40 bares y

con una temperatura mínima de funcionamiento de -10 °C podría emplearse:

- 5 a) una mezcla de N<sub>2</sub> (o aire seco o O<sub>2</sub> o helio o una mezcla de ellos) con un 16,2 % de C5K  
 b) o bien una mezcla de N<sub>2</sub> (o aire seco o O<sub>2</sub> o helio o una mezcla de ellos) con un 6,57 % de C6K,  
 c) o bien una mezcla de N<sub>2</sub> (o aire seco o O<sub>2</sub> o helio o una mezcla de ellos) con un 11,86 % de HFO-1336mzzZ,  
 d) o bien una mezcla de N<sub>2</sub> (o aire seco o O<sub>2</sub> o helio o una mezcla de ellos) con un 38,99 % de HFO-1336mzE,  
 e) o bien una mezcla de N<sub>2</sub> (o aire seco o O<sub>2</sub> o helio o una mezcla de ellos) con un 16,2 % de C5K, y un 11,86 % de HFO-1336mzzZ,

sin que se produjera condensación de las fluorocetonas ni de hidrofluoroolefinas hasta -10 °C.

- 10 Por debajo de esa temperatura de -10 °C las fluorocetonas y las hidrofluoroolefinas empezarían a condensarse parcialmente reduciéndose su porcentaje en la mezcla gaseosa y por tanto disminuyendo la rigidez dieléctrica del sistema de aislamiento inicial.

De la misma manera, para un aparellaje de conmutación de media tensión con una presión de llenado a 20 °C de 1,40 bares y con una temperatura mínima de funcionamiento de -20 °C podría emplearse:

- 15 a) una mezcla de N<sub>2</sub> (o aire seco o O<sub>2</sub> o helio o una mezcla de ellos) con un 9,9 % de C5K  
 b) o bien una mezcla de N<sub>2</sub> (o aire seco o O<sub>2</sub> o helio o una mezcla de ellos) con un 4,01 % de C6K,  
 c) o bien una mezcla de N<sub>2</sub> (o aire seco o O<sub>2</sub> o helio o una mezcla de ellos) con un 7,06 % de HFO-1336mzzZ,  
 d) o bien una mezcla de N<sub>2</sub> (o aire seco o O<sub>2</sub> o helio o una mezcla de ellos) con un 23,99 % de HFO-1336mzE  
 e) o bien una mezcla de N<sub>2</sub> (o aire seco o O<sub>2</sub> o helio o una mezcla de ellos) con un 9,9 % de C5K y un 7,06 % de HFO-1336mzzZ,

- 20 sin que se produjera condensación de las fluorocetonas ni de hidrofluoroolefinas hasta -20 °C.

Por debajo de esa temperatura de -20 °C las fluorocetonas y las hidrofluoroolefinas empezarían a condensarse parcialmente reduciéndose su porcentaje en la mezcla gaseosa y por tanto disminuyendo la rigidez dieléctrica del sistema de aislamiento inicial.

Y así sucesivamente para otras temperaturas mínimas de funcionamiento del aparellaje de conmutación.

- 25 Si las presiones finales de la mezcla en el aparellaje de conmutación fueran diferentes a 1,40 bares los porcentajes de C5K y de C6K, de HFO-1336mzzZ y de HFO-1336mzE también se verían modificados de forma acorde y de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$X, C5K = P, C5K / P_{total} \text{ mezcla}$$

$$X, C6K = P, C6K / P_{total} \text{ mezcla}$$

30 
$$X, HFOZ = P, HFOZ / P_{total} \text{ mezcla}$$

$$X, HFOE = P, HFOE / P_{total} \text{ mezcla}$$

- 35 siendo P<sub>total</sub> mezcla la presión final de la mezcla. Si en el momento del llenado del aparellaje de conmutación se emplean mayores porcentajes de fluorocetonas e hidrofluoroolefinas en las mezclas que los indicados para cada temperatura, lógicamente la rigidez dieléctrica será mayor, pero habrá que tener en consideración que a las temperaturas mínimas de funcionamiento la rigidez dieléctrica del sistema de aislamiento se vería reducida y sería menor que si se hubieran empleado los porcentajes de fluorocetona e hidrofluoroolefinas indicados en las Tablas 2, 3, 4 y 5 para cada temperatura, debido a la condensación de parte de la fluorocetona o fluorocetonas y/o de la hidrofluoroolefina o hidrofluoroolefinas.

### Ejemplo 2: Ensayo de rigidez dieléctrica de mezclas gaseosas

- 40 Se evaluó la rigidez dieléctrica de diferentes mezclas gaseosas midiendo la "tensión de ruptura dieléctrica" en un equipo BAUR DTA-100E dotado de una célula para ensayo de gases con dos electrodos según norma ASTM D2477 (uno de los 5 electrodos es un disco con cara plana de 1,50 pulgadas de diámetro y el otro electrodo es una bola esférica de 0,75 pulgadas de diámetro) y con una distancia entre electrodos de 8 mm.

Las mezclas gaseosas ensayadas fueron las siguientes:

- 45 a) 1400 mbares de aire seco  
 b) 1400 mbares de mezcla aire seco + 9 % C5K  
 c) 1400 mbares de mezcla aire seco + 9 % C5K + 8 % HFO-1336mzzZ

Los resultados de estos ensayos se muestran en la Tabla 5:

**Tabla 5: Valores de tensión de ruptura dieléctrica de las mezclas gaseosas**

| GAS o MEZCLA                           | Tensión de ruptura dieléctrica, kV |
|--|------------------------------------|
| Aire seco                              | 22,8                               |
| Aire seco + 9 % C5K                    | 37,5                               |
| Aire seco + 9 % C5K + 8 % HFO-1336mzzZ | 42,0                               |

5 Como se puede observar en el último registro de la Tabla 5 la adición de un 8 % de hidrofluoroolefina HFO-1336mzzZ a la mezcla de fluorocetona con aire seco proporciona un incremento adicional de la tensión de ruptura dieléctrica de dicha mezcla de entorno al 12 % lo cual hace que una mezcla gaseosa de estas características sea aún más idónea para aplicaciones de aislamiento eléctrico en el aparellaje eléctrico de conmutación de media o alta tensión.

### Ejemplo 3: Impacto ambiental (efecto invernadero) de un ejemplo de mezcla gaseosa

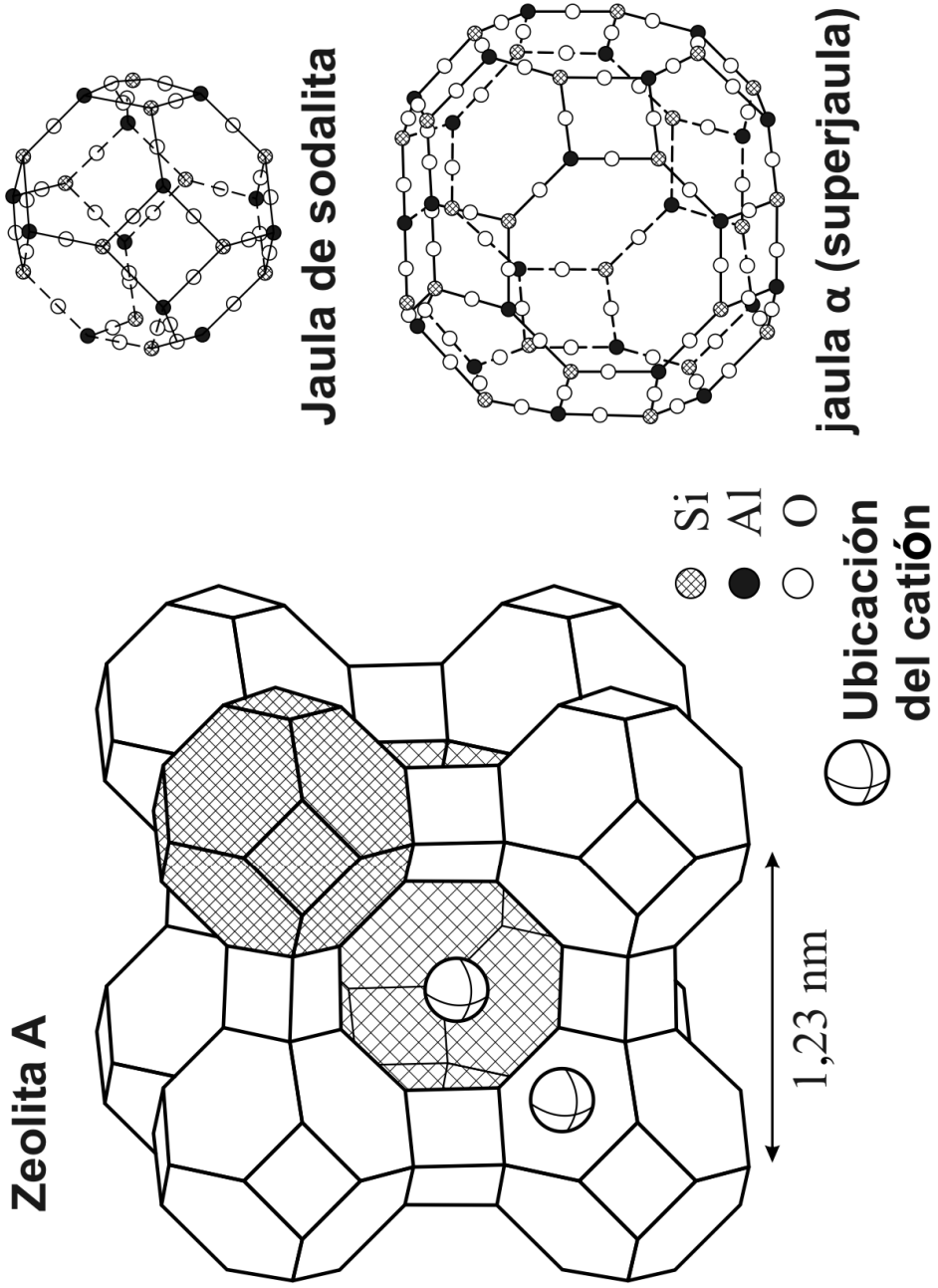
10 El potencial de efecto invernadero (GWP o global warming potential) de una mezcla gaseosa se calcula, de acuerdo con lo indicado en el Reglamento Europeo de gases fluorados de efecto invernadero, como la media ponderada derivada de la suma de las fracciones en peso de cada una de las sustancias multiplicadas por su valor de GWP.

De esta forma:

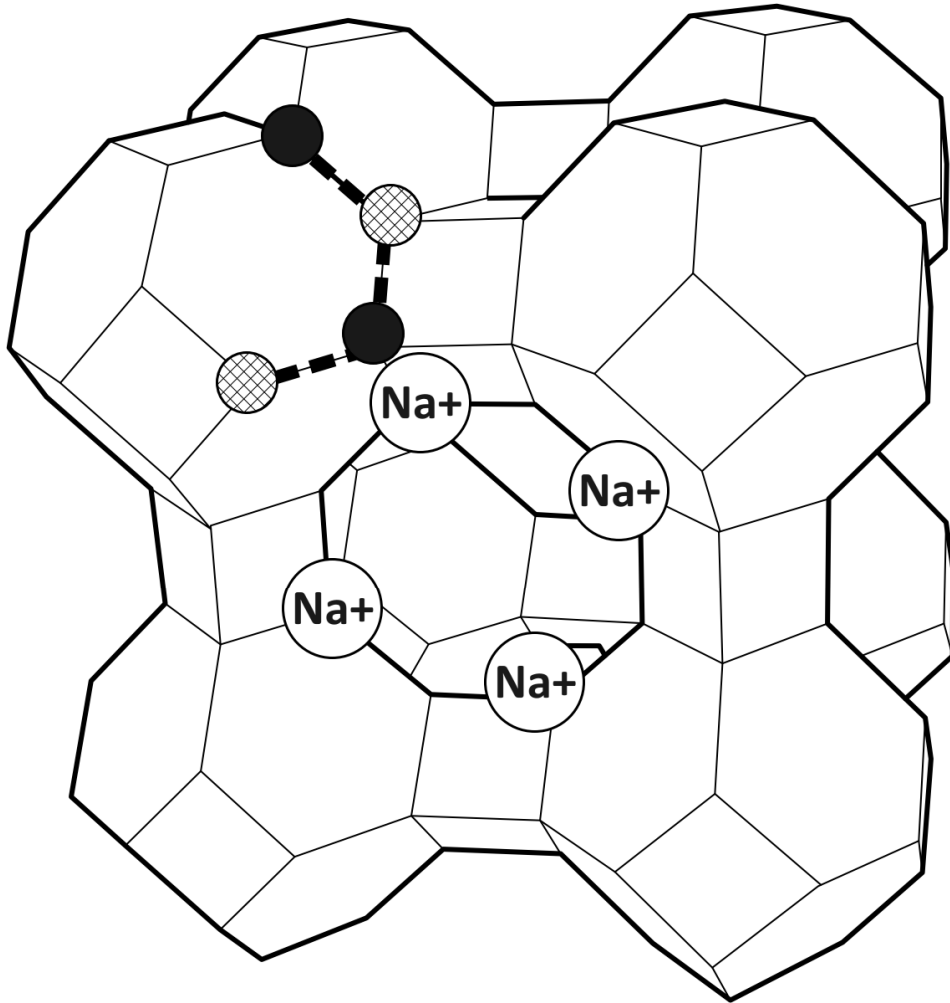
- 15 a) el potencial de efecto invernadero (GWP) de una mezcla con un 9 % de fluorocetona C5K, un 6 % de HFO-1336mzzE y un 85 % de aire seco sería de 3,44, es decir, un 0,0151 % del potencial de efecto invernadero (GWP) del gas SF6 que es 22800 (teniendo en cuenta que el GWP del C5K es 1 y el de la HFO-1336mzzE es 18, y que el peso molecular del C5K es 266, el de la HFO-1336mzzE es 164 y el del aire seco es 29).
- b) el potencial de efecto invernadero (GWP) de una mezcla con un 9 % de fluorocetona C5K, un 6 % de HFO-1336mzzZ y un 85 % de aire seco sería de 0,75, es decir, un 0,0033 % del potencial de efecto invernadero (GWP) del gas SF6 que es 22800 (teniendo en cuenta que el GWP del C5K es 1 y el de la HFO-1336mzzZ es 2, y que el peso molecular del C5K es 266, el de la HFO-1336mzzZ es 164 y el del aire seco es 29).

**REIVINDICACIONES**

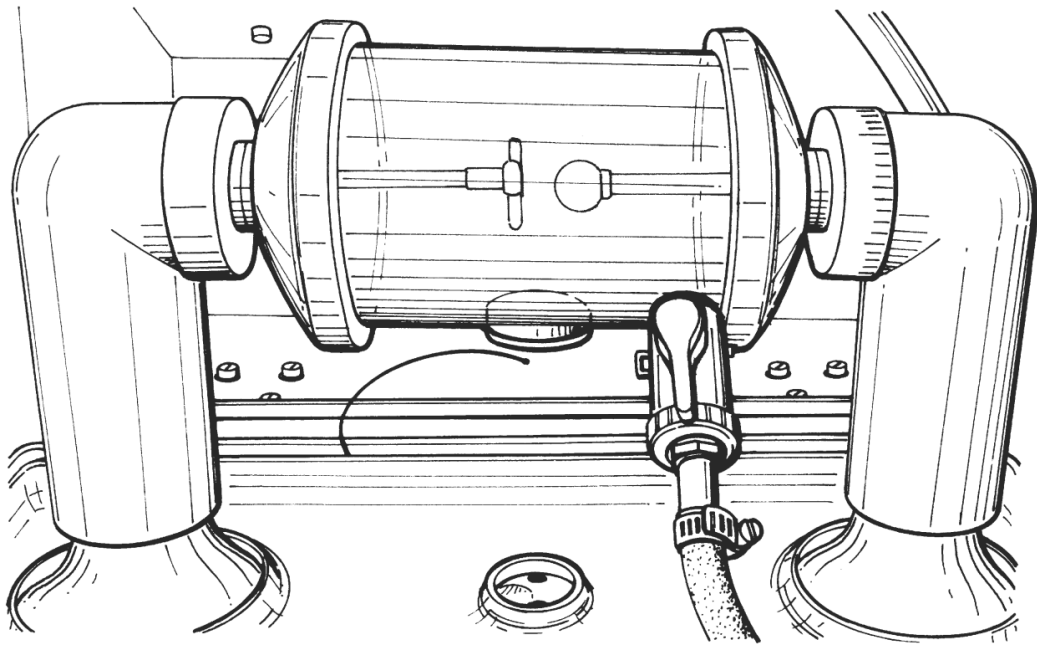
1. Un sistema de aislamiento eléctrico de bajo impacto ambiental para aparellaje eléctrico de conmutación de media o alta tensión que comprende:
  - a) un medio gaseoso que consiste en una mezcla de:
    - 5 i) una o más fluorocetonas de entre 5 y 6 átomos de carbono;
    - ii) una o más hidrofluoroolefinas no inflamables de 4 átomos de carbono; y
    - iii) uno, dos o tres gases vectores seleccionados entre N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, aire seco, helio o mezclas de los mismos;
  - b) un tamiz molecular con un tamaño de poro de 3 a 6 Å y una superficie polar.
2. El sistema de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el medio gaseoso comprende una fluorocetona de 5 carbonos, una o más hidrofluoroolefinas de 4 átomos de carbono y uno o más gases vectores seleccionados entre N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, aire seco, helio o mezclas de los mismos.
3. El sistema de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, en el que la fluorocetona es (CF<sub>3</sub>)<sub>2</sub>-CF-CO-CF<sub>3</sub> y las hidrofluoroolefinas de 4 átomos de carbono son HFO-1336mzzZ o HFO-1336mzzE.
4. El sistema de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que los gases vectores se seleccionan entre aire seco, N<sub>2</sub>, y O<sub>2</sub>.
5. El sistema de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la fracción molar de la una o más fluorocetonas de 5 a 6 átomos de carbono y de la una o más hidrofluoroolefinas de 4 átomos de carbono es de al menos un 1 % o de al menos un 2 % o de al menos un 5 % o de al menos un 10 % o de al menos un 15 %.
6. El sistema de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el tamiz molecular posee un tamaño de poro de 3 a 4 Å.
7. El sistema de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el tamiz molecular se selecciona de zeolitas naturales o zeolitas sintéticas.
8. El sistema de acuerdo con la reivindicación 7, en el que la zeolita posee una estructura A.
9. Un uso de un sistema de aislamiento eléctrico de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores para el aislamiento eléctrico y/o para la extinción de arcos eléctricos en aparellaje eléctrico de conmutación de media o alta tensión.
10. Un procedimiento para el aislamiento eléctrico y/o la extinción de arcos eléctricos en aparellaje eléctrico de conmutación de media y alta tensión que comprende la introducción del sistema de aislamiento eléctrico de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8 en un recinto cerrado y estanco en el que se hallen los elementos a aislar de dicho aparellaje eléctrico de conmutación de media o alta tensión.
11. Un aparellaje eléctrico de conmutación de media o alta tensión que comprende un recinto cerrado en cuyo interior se encuentran componentes eléctricos bajo tensión y un sistema de aislamiento eléctrico de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8.
12. El aparellaje eléctrico de conmutación de acuerdo con la reivindicación 11, en la que el aparellaje de conmutación puede ser un aparellaje de conmutación de distribución de energía eléctrica en redes de hasta 72 kV.



**FIG. 1**



**FIG. 2**



**FIG. 3**