

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 439 269**

51 Int. Cl.:

**C01B 13/02** (2006.01)

**B01D 53/22** (2006.01)

**B01D 53/32** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **30.10.2009 E 09753265 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **23.10.2013 EP 2361218**

54 Título: **Método y conjunto de separación de oxígeno**

30 Prioridad:

**10.11.2008 US 267801**

**28.10.2009 US 607092**

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

**22.01.2014**

73 Titular/es:

**PRAXAIR TECHNOLOGY, INC. (100.0%)**

**39 Old Ridgebury Road**

**Danbury, CT 06810, US**

72 Inventor/es:

**REED, DAVID M.;**

**SUGGS, DAVID FRISBEE;**

**COLLINS, MICHAEL J.;**

**KELLY, RICHARD MARTIN y**

**CHRISTIE, GERVASE MAXWELL**

74 Agente/Representante:

**DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto**

**ES 2 439 269 T3**

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

## DESCRIPCIÓN

Método y conjunto de separación de oxígeno

**Campo de la invención**

5 La presente invención está relacionada con un método y un conjunto de separación de oxígeno impulsada eléctricamente en los que el oxígeno se separa con el uso de uno o más elementos de membrana tubular del conjunto. Más particularmente la presente invención está relacionada con un método y un conjunto de separación de oxígeno en los que el potencial eléctrico se aplica en electrodos opuestos del elemento o elementos de membrana tubular en dos ubicaciones centrales espaciadas y por lo menos en dos ubicaciones del elemento de membrana tubular espaciado hacia fuera desde las dos ubicaciones centrales espaciadas.

**10 Antecedentes de la invención**

Se utilizan unos separadores de oxígeno impulsados eléctricamente para separar el oxígeno de la sustancia de entrada que contiene oxígeno, por ejemplo aire. Además, tales dispositivos también se utilizan en aplicaciones de purificación en las que se desea purificar una sustancia de entrada que contiene oxígeno mediante la separación del oxígeno de la sustancia de entrada. Los separadores de oxígeno impulsados eléctricamente pueden unos utilizar 15 elementos de membrana tubular que tienen una estructura en capas que contienen una capa de electrolito capaz de transportar los iones de oxígeno cuando se la somete a una temperatura elevada, unas capas de cátodo y de ánodo ubicadas en superficies opuestas de la capa de electrolito y unas capas de colector de corriente para suministrar corriente eléctrica a las capas de electrodo de cátodo y de ánodo.

20 Cuando los elementos de membrana tubular son sometidos a una temperatura elevada, el oxígeno contenido en una sustancia de entrada se ioniza en una superficie de la capa de electrolito, junto a la capa de electrodo de cátodo al ganar electrones de un potencial eléctrico aplicado.

Bajo el estímulo del potencial eléctrico, los iones de oxígeno resultantes se transportarán a través del capa de electrolito al lado opuesto, junto a la capa de ánodo y se recombinan en oxígeno elemental.

25 Los elementos de membrana tubular están alojados en un confinamiento calentado eléctricamente para calentar los elementos de membrana tubular a una temperatura de funcionamiento a la que se transportarán los iones de oxígeno. Además, tales elementos de membrana tubular pueden agruparse juntos de tal manera que la sustancia de entrada que contiene oxígeno se pasa al confinamiento y el oxígeno separado es extraído de los elementos de membrana tubular a través de un tubo múltiple. En algunas aplicaciones de purificación, la sustancia de entrada que contiene oxígeno se puede pasar por el interior de los elementos de membrana tubular y el oxígeno separado se 30 puede extraer del confinamiento.

Unos materiales típicos que se usan para formar la capa de electrolito son el itrio o el óxido de circonio estabilizado con escandio y óxido de cerio dopado con gadolinio. Las capas de electrodo se pueden hacer de mezclas del material de electrolito y un metal conductor, un óxido o aleación metálica, tal como una perovskita conductora de electricidad. Los colectores de corriente de la técnica se han formado de metales y aleaciones de metales 35 conductivos, tal como la plata, así como mezclas de esos metales y óxidos metálicos.

40 Con el fin de aplicar el potencial eléctrico a los elementos de membrana tubular, se pueden conectar unos conductores a las capas del colector de corriente. Dichos conductores se conectan en ubicaciones individuales para conectar los elementos de membrana tubular con una conexión eléctrica en serie o en paralelo. El problema de esto es que la corriente eléctrica se distribuye de manera irregular en toda la longitud de cada uno de los elementos tubulares, lo que tiene como resultado la creación de puntos calientes en el empalme de los conductores con los elementos de membrana tubular. Estos puntos calientes pueden llevar al fallo de los elementos tubulares. Idealmente la corriente se distribuye uniformemente a lo largo de la longitud del colector de corriente, lo que tiene como resultado una distribución uniforme de la temperatura y un flujo localizado de iones de oxígeno a lo largo de la membrana. Dado que la distribución de la corriente eléctrica es desigual, la conducción iónica de los iones de 45 oxígeno a través de la capa de electrolito también es desigual ya que se produce, en gran medida, en la conexión de los conductores con las capas de recogida de corriente.

Incluso un problema adicional es que los elementos de membrana tubular se proyectan a través de los aislantes y/o el confinamiento calentado que también puede estar aislado. De este modo, en los extremos de proyección de los 50 elementos de membrana tubular, se produce una temperatura que es aproximadamente 500 °C inferior a la temperatura de los elementos tubulares dentro del confinamiento calentado que puede ser aproximadamente 700 °C. En estas zonas de transición de temperatura se ha encontrado que la capa de electrolito puede sufrir una reducción química en la que el electrodo se reduce químicamente a un conductor electrónico que conduce a otro punto en el que los elementos de membrana tubular fallarán con el tiempo.

55 A partir del documento US 2005/258031 se conoce una celda electroquímica que recibe una corriente de aire de entrada y produce una corriente de salida de gas oxígeno. La célula comprende una capa de ánodo, una capa de cátodo, un capa de electrolito ubicada entre la capa de ánodo y la capa de cátodo y unas capas de colector de

corriente ubicadas junto y en contacto con la capa de ánodo y la capa de cátodo. El electrolito es una membrana cerámica a través de la que se aplica un potencial eléctrico para inducir el transporte de iones de oxígeno a través de la capa de electrolito desde la capa de cátodo hacia la capa de ánodo.

5 En el documento WO 0124300 se describe un conjunto de celda de combustible tubular que comprende un lado de ánodo que define un paso tubular para el gas combustible, el lado de ánodo comprende una capa de ánodo y un colector de corriente en el lado del ánodo en contacto eléctrico con la capa de ánodo, una capa de electrolito de óxido sólido en una superficie radialmente exterior de la capa de ánodo, una capa de cátodo en una superficie radialmente exterior de la capa de electrolito y un colector de corriente en el lado del cátodo en la capa de cátodo, en donde el colector de corriente del lado de ánodo comprende una estructura metálica tubular que está adaptada para permitir que el gas combustible en el paso de gas entre en contacto con la capa de ánodo, por lo menos la superficie de la estructura metálica tubular está formada de Ni o aleación de Ni, y en donde la estructura metálica tubular está por lo menos parcialmente incrustada en la capa de ánodo.

15 En el documento 2005147857 se describe una célula de combustible de óxido sólido que comprende una pluralidad de tubos, cada uno tiene un ánodo, un cátodo y un electrolito. Unos colectores de corriente de ánodo y de cátodo se montan en los tubos. El colector de corriente de ánodo se conecta eléctricamente al ánodo y puede tener un contacto con el ánodo. El colector de corriente de cátodo se conecta eléctricamente al cátodo y puede tener un contacto con el cátodo.

20 Como se mencionará, la presente invención proporciona un conjunto de separación de oxígeno que utiliza uno o más elementos de membrana tubular y un método relacionado en el que, entre otras ventajas, la corriente se distribuye de forma más uniforme a lo largo de la longitud de los elementos de membrana tubular en comparación con la técnica anterior. Además cada uno de los elementos tubulares se puede modificar para resistir el fallo en una zona de transición de temperatura, como se ha mencionado anteriormente. Por otra parte, los extremos de los elementos de membrana tubular se pueden sellar con un miembro tipo tapón de una manera rentable.

### Compendio de la invención

25 La presente invención proporciona, en un aspecto, un conjunto de separación de oxígeno impulsada eléctricamente. Según este aspecto de la presente invención, se proporciona por lo menos un elemento de membrana tubular que tiene una capa de ánodo, una capa de cátodo, una capa de electrolito ubicada entre la capa de ánodo y la capa de cátodo y dos capas de colector de corriente ubicadas junto y en contacto con la capa de ánodo y la capa de cátodo y ubicadas en el interior y el exterior del por lo menos un elemento de membrana tubular. Las dos capas de colector de corriente permiten que una corriente eléctrica sea aplicada por una fuente de energía a las capas de electrodo que a su vez inducen el transporte de iones de oxígeno a través de la capa de electrolito desde la capa de cátodo a la capa de ánodo. Un grupo de conductores están conectados a una de las dos capas de colector de corriente en dos ubicaciones centrales espaciadas del por lo menos un elemento de membrana tubular y la otra de las dos capas de colector de corriente por lo menos en ubicaciones extremas opuestas del por lo menos un elemento de membrana tubular, espaciado hacia fuera de las dos ubicaciones centrales espaciadas, de modo que la fuente de energía es capaz de aplicar la corriente eléctrica a través del grupo de conductores entre las dos ubicaciones centrales espaciadas y por lo menos las dos ubicaciones extremas opuestas. Como resultado, la corriente eléctrica que fluye a través del por lo menos un elemento de membrana tubular se divide en dos partes que fluyen entre las dos ubicaciones centrales espaciadas y las ubicaciones extremas opuestas.

40 La división de la corriente eléctrica permite a la corriente eléctrica distribuirse de forma más uniforme por todo el elemento de membrana tubular para evitar que se formen puntos calientes y que lleve a un fallo del elemento de membrana tubular. Además, la distribución uniforme de la corriente eléctrica permite que más parte del elemento de membrana tubular sea utilizado de una manera eficaz para la separación del oxígeno.

45 Una de las dos capas de colector de corriente puede estar situada en el exterior del por lo menos un elemento de membrana tubular con la capa de cátodo junto a la una de las dos capas de colector de corriente. Unas secciones extremas opuestas exteriores del por lo menos un elemento de membrana tubular se puede retener dentro de los miembros de aislamiento y la capa de cátodo y la una de las dos capas de colector de corriente se extienden parcialmente a lo largo de una longitud de por lo menos un elemento de membrana tubular, de tal manera que las secciones extremas opuestas exteriores del por lo menos un elemento de membrana tubular están desprovistas de por lo menos la capa de cátodo y una de las dos capas de colector de corriente. Las secciones extremas también podrían estar desprovistas de la capa de ánodo y otra de las dos capas de colector de corriente. Cabe señalar aquí que dado que las secciones extremas opuestas exteriores están retenidas dentro de los miembros de aislamiento, hay una zona de transición de temperatura dentro de las secciones extremas como se ha mencionado anteriormente. Sin embargo, dado que no hay capa de cátodo y como se mencionará más adelante, también es posible que no haya capa de ánodo, no hay corriente eléctrica conducida por esta región, lo que lleva a una reducción química del electrolito y un posible fallo del mismo. En este sentido, cabe señalar que las "dos ubicaciones extremas opuestas" no tienen que estar ubicadas en los extremos físicos del por lo menos un elemento de membrana tubular y, en circunstancias en las que no hay capa de ánodo, tales ubicaciones deben estar espaciadas hacia dentro desde tales extremos físicos para quedar en el exterior de los miembros de aislamiento.

Un distribuidor de corriente de configuración alargada puede estar ubicado dentro del por lo menos un elemento de membrana tubular, extendiéndose entre los extremos del por lo menos un elemento de membrana tubular y en contacto con el otro de los dos colectores de corriente en una pluralidad de puntos situados dentro de los elementos de membrana tubular. Los conductores conectados en ubicaciones extremas opuestas de los elementos de membrana tubular se conectan en extremos opuestos del distribuidor de corriente. El distribuidor de corriente puede tener una configuración helicoidal.

El por lo menos un elemento de membrana tubular puede estar provisto de unos sellos extremos opuestos, unas conexiones pasantes eléctricas selladas opuestas que penetran en los sellos extremos opuestos y un tubo de salida que penetra en uno de los sellos extremos opuestos para descargar oxígeno. Los conductores conectados al por lo menos un elemento de membrana tubular en las dos ubicaciones extremas opuestas pasan a través de unas conexiones pasantes de alimentación eléctrica y están conectados al distribuidor de corriente.

El por lo menos un elemento de membrana tubular son una pluralidad de elementos de membrana tubular. La pluralidad de elementos de membrana tubular pueden conectarse eléctricamente en serie mediante el grupo de los conductores, con un primer par de los conductores conectados a las dos ubicaciones centrales espaciadas del primero de los elementos de membrana tubular, un segundo par de los conductores conectados a las ubicaciones extremas opuestas de un segundo de los elementos de membrana tubular y los pares restantes de los conductores unen los pares de los restantes elementos de membrana tubular en las dos ubicaciones centrales espaciadas y, por lo menos en las ubicaciones extremas opuestas de los mismos de modo que el primer par de conductores y el segundo par de conductores son capaces de conectarse a una fuente de energía eléctrica.

El uno de los dos colectores de corriente puede estar situado en el exterior de cada uno de los elementos de membrana tubular junto a la capa de cátodo y el otro de los dos colectores de corriente puede estar situado en el interior de los elementos de membrana tubular junto a la capa de ánodo.

Los elementos de membrana tubular se pueden disponer en una agrupación y se mantienen en una distribución radial mediante unos miembros opuestos de aislamiento situados en unas secciones extremas opuestas de los elementos de membrana tubular. Los elementos de membrana tubular pueden estar provistos de unos sellos extremos opuestos, unas conexiones pasantes eléctricas selladas opuestas que penetran en los sellos extremos opuestos y unos tubos de salida que penetran en los sellos extremos opuestos en un extremo de la agrupación para descargar el oxígeno. Los conductores conectados a los elementos de membrana tubular en las dos ubicaciones extremas opuestas pasan a través de las conexiones pasantes eléctricas y están en contacto eléctrico con el otro de los dos colectores de corriente. Un tubo múltiple está conectado al tubo de salida y tiene una salida común para descargar el oxígeno que se descarga desde el tubo de salida. La capa de cátodo y la una de las dos capas de colector de corriente pueden extenderse parcialmente a lo largo de una dimensión longitudinal de los elementos de membrana tubular de tal manera que las secciones extremas opuestas exteriores de los elementos de membrana tubular están desprovistas de por lo menos la capa de cátodo y la una de las dos capas de colector de corriente. Las secciones extremas también podrían estar desprovistas de la capa de ánodo y otra de las dos capas de colector de corriente. Como se ha indicado anteriormente, se puede emplear un distribuidor de corriente con los conductores conectados a las ubicaciones extremas opuestas de los elementos de membrana tubular que se conectan a extremos opuestos del distribuidor de corriente. El distribuidor de corriente puede tener una configuración helicoidal.

En otro aspecto, la presente invención proporciona un método para aplicar un potencial eléctrico en un conjunto de separación de oxígeno impulsada eléctricamente. Según este aspecto de la presente invención, el potencial eléctrico se aplica a por lo menos un elemento de membrana tubular que tiene una capa de ánodo, una capa de cátodo, una capa de electrolito formada del material de electrolito y ubicada entre la capa de ánodo y la capa de cátodo y dos capas de colector de corriente ubicadas junto y en contacto con la capa de ánodo y la capa de cátodo y ubicadas en el interior y el exterior del por lo menos un elemento de membrana tubular. El potencial eléctrico se aplica a una de las dos capas de colector de corriente en dos ubicaciones centrales espaciadas del por lo menos un elemento de membrana tubular y a la otra de las capas de colector de corriente por lo menos en ubicaciones extremas opuestas del por lo menos un elemento de membrana tubular, espaciadas hacia fuera desde las dos ubicaciones centrales espaciadas de modo que una corriente eléctrica que fluye a través del por lo menos un elemento de membrana tubular inducida por el potencial eléctrico aplicado se divide en dos partes que circulan entre las dos ubicaciones centrales espaciadas y las ubicaciones extremas opuestas.

La una de las dos capas de colector de corriente está ubicada en el exterior del elemento de membrana tubular. El cátodo está ubicado junto a la una de las dos capas de colector de corriente y la sustancia de entrada que contiene oxígeno entra en contacto con el exterior del elemento de membrana tubular. El oxígeno se recoge en el interior del elemento de membrana tubular y se extrae del interior del elemento de membrana tubular. Como se ha indicado anteriormente, la capa de cátodo y la una de las dos capas de colector de corriente puede extenderse parcialmente a lo largo de una dimensión longitudinal del elemento de membrana tubular de tal manera que las secciones extremas opuestas exteriores del elemento de membrana tubular están desprovistas de por lo menos la capa de cátodo y la una de las dos capas de colector de corriente situada junto a la por lo menos una capa de cátodo. En este sentido, las secciones extremas, como se indicó anteriormente, podrían estar desprovistas de la capa de ánodo y la otra de las dos capas de colector de corriente. La corriente puede aplicarse al otro de los colectores de corriente

en una pluralidad de puntos situados dentro del elemento de membrana tubular entre las ubicaciones extremas del mismo.

5 El elemento de membrana tubular para la separación de oxígeno impulsada eléctricamente comprende una capa de ánodo, una capa de cátodo, un capa de electrolito ubicada entre la capa de ánodo y la capa de cátodo y dos capas de colector de corriente ubicadas junto y en contacto con la capa de ánodo y la capa de cátodo. Las dos capas de colector de corriente están situadas en el interior y el exterior del elemento de membrana tubular para permitir que un potencial eléctrico sea aplicado por una fuente de energía para inducir el transporte de iones de oxígeno a través de la capa de electrolito desde la capa de cátodo a la capa de ánodo.

10 En extremos opuestos del elemento de membrana tubular hay ubicados unos sellos extremos. Cada uno de los sellos extremos comprende un miembro tipo tapón ubicado dentro del elemento de membrana tubular y formado por un elastómero para producir un sello hermético y unos medios para retener el miembro tipo tapón dentro del elemento de membrana tubular. Por lo menos una conexión pasante eléctrica sellada penetra por lo menos uno de los sellos extremos y un grupo de conductores eléctricos pasan a través de la por lo menos una conexión pasante eléctrica sellada y en contacto eléctrico con una de las dos capas de colector de corriente situadas en el interior del elemento de membrana tubular y se conectan a la otra de las dos capas de colector de corriente situada en el exterior del elemento de membrana tubular. Un tubo de salida penetra en uno de los sellos extremos o el otro de los sellos extremos para permitir que el oxígeno sea descargado desde el elemento de membrana tubular.

15 Los medios de retención pueden ser un depósito de un adhesivo cerámico situado dentro del elemento de membrana tubular junto al miembro tipo tapón y colocado para evitar el movimiento hacia fuera del miembro tipo tapón.

20 La por lo menos una conexión pasante eléctrica sellada pueden ser dos conexiones pasantes eléctricas selladas que penetran en los sellos extremos. El tubo de salida puede penetrar en el uno de los sellos extremos y el grupo de conductores eléctricos comprende un primer par de los conductores eléctricos y un segundo par de los conductores eléctricos. El primer par de los conductores eléctricos se conectan a dos ubicaciones centrales espaciadas de las dos capas de colector de corriente situadas en el exterior del elemento de membrana tubular y el segundo par de los conductores eléctricos pasan a través de las dos conexiones pasantes eléctricas selladas opuestas. Un distribuidor de corriente de configuración alargada está ubicado dentro de cada uno de los elementos de membrana tubular, se extiende entre los extremos del elemento de membrana tubular, contacta con la una de las dos capas de colector de corriente situada en el interior del elemento de membrana tubular y se conecta, en extremos opuestos, al segundo par de los conductores eléctricos. El distribuidor de corriente puede tener una configuración helicoidal.

### Breve descripción de los dibujos

Si bien la memoria descriptiva concluye con unas reivindicaciones que remarcan claramente el objeto que los solicitantes consideran como su invención, se cree que la invención se comprenderá si se toma conjuntamente con los dibujos acompañantes, en los que:

35 La Fig. 1 es una vista esquemática en sección de las agrupaciones de elementos de membrana tubular de un conjunto de separación de oxígeno impulsada eléctricamente según la presente invención, ilustradas dentro de un confinamiento calentado y con las conexiones eléctricas a estos elementos no mostradas;

La Fig. 2 es una vista en perspectiva de los elementos de membrana tubular agrupados utilizados en la Fig. 1;

40 La Fig. 3 es una vista esquemática en sección de una membrana tubular compuesta utilizada en los elementos de membrana tubular ilustrada en las Figs. 1 y 2;

La Fig. 4 es una vista fragmentaria esquemática en sección de un conjunto de separación de oxígeno utilizado en la Fig. 1 que ilustra la conexión eléctrica del mismo a la fuente de energía;

La Fig. 5 es una vista esquemática en sección de la conexión eléctrica de los elementos de membrana compuesta utilizados en un conjunto de separación de oxígeno mostrado en la Fig. 1;

45 La Fig. 6 es una representación gráfica del perfil de temperatura a lo largo de la longitud de un elemento de membrana tubular de un conjunto de oxígeno de separación de la presente invención comparado con un elemento de membrana tubular de un conjunto de separación de oxígeno de la técnica anterior; y

La Fig. 7 es una vista esquemática en sección de una realización alternativa del elemento de membrana tubular utilizado en la Fig. 1.

### 50 Descripción detallada

Haciendo referencia a la Fig. 1, se ilustra un separador de oxígeno que tiene unos conjuntos 10 de separación de oxígeno alojados dentro un confinamiento calentado 12. Cada uno de los conjuntos 10 de separación de oxígeno está formado por unos elementos de membrana tubular 14 que se mantienen en una posición agrupada mediante unos miembros extremos de aislamiento 16 y 18 que se fabrican de fibra de alúmina de gran pureza. Los elementos

de membrana tubular para los fines de ejemplo pueden tener un diámetro exterior de aproximadamente 6,35 mm, un grosor total de aproximadamente 0,5 mm y una longitud de aproximadamente 55 cm. Los miembros extremos de aislamiento 16 y 18 están retenidos dentro de unas aberturas opuestas 20, 22 y 24, y 26 definidas en unas paredes extremas aisladas 28 y 30 del confinamiento calentado 12. El confinamiento calentado 12 puede tener una configuración cilíndrica que tiene una pared lateral aislada 32 que conecta las paredes extremas 28 y 30. Una capa calentada de aislamiento 34 se coloca coaxialmente dentro de la pared lateral aislada 32 y contiene unos elementos de calentamiento para calentar los elementos de membrana tubular 14 a una temperatura de funcionamiento a la que se produce el transporte de iones de oxígeno cuando se aplica un potencial eléctrico a dichos elementos.

Durante el funcionamiento del separador de oxígeno 1, una corriente de alimentación 36 que contiene oxígeno se introduce en el interior del confinamiento calentado 12 por medio de una entrada 37 para ponerse en contacto con el exterior de los elementos de membrana tubular 14. Por medio de un potencial aplicado a los elementos de membrana tubular 14, el oxígeno se convierte en iones de oxígeno que son transportados al interior de esos elementos 14. El oxígeno separado se descarga luego a través de unas disposiciones de tubos múltiples 38 que tienen una disposición similar a una araña de tubos 39 conectados a un adaptador de compresión 40 que tiene unos agujeros (no se ilustran) para recibir corrientes de oxígeno desde los tubos 39 y para descargar una corriente de oxígeno 42 desde los adaptadores de compresión 40. Aunque no se ilustra, los adaptadores de compresión 40 podrían estar conectados a un tubo de descarga común u otro tubo múltiple para recoger y descargar el oxígeno separado. La fracción retenida empobrecida de oxígeno se descarga como una corriente de fracción retenida 44 desde una salida 46 del confinamiento calentado 12.

Haciendo referencia adicional a la Fig. 2, se puede observar que cada uno de los miembros extremos de aislamiento 16 y 18 está provisto de unas ranuras 48 para sostener los elementos de membrana tubular 14 en su sitio. En la realización particular ilustrada, cada una de las agrupaciones consiste en seis de estos elementos de membrana tubular 14. Cada uno de los elementos de membrana tubular 14 está provisto de unos sellos que se forman mediante unas tapas extremas 50 ubicadas en extremos opuestos de los mismos. Unas conexiones pasantes eléctricas 52 y 54 penetran en las tapas extremas 50. Además, unos tubos de salida 56 penetran en las tapas extremas 50 en un extremo de los elementos de membrana tubular 14.

Se entiende que la explicación del separador de oxígeno 1 es sólo para fines ilustrativos y no está destinada a ser limitativa de la aplicación de la invención o del alcance de las reivindicaciones adjuntas. En este sentido, la presente invención se aplica a un separador de oxígeno que tiene un único elemento de membrana tubular 14 o a un elemento de membrana tubular 14 que se utilizan para fines distintos a la producción de oxígeno. Por ejemplo, la invención es aplicable a un purificador que se utiliza para eliminar el oxígeno de una corriente de una sustancia de entrada que contiene oxígeno y, como tal, la corriente de sustancia de entrada puede introducirse al interior de unos elementos de membrana tubular.

Haciendo referencia a la Fig. 3, cada elemento de membrana tubular 14 está provisto de una capa de cátodo 58, una capa de ánodo 60 y una capa de electrolito 62. Hay dos capas de colector de corriente 64 y 66 ubicadas junto a la capa de ánodo 58 y la capa de cátodo 60, respectivamente, para conducir una corriente eléctrica a la capa de ánodo y la capa de cátodo. Aunque la presente invención se aplica a cualquier estructura compuesta que forme parte de un elemento de membrana tubular 14, para ejemplo de finalidades, la capa de cátodo 58 y la capa de ánodo 60 pueden tener un grosor de entre aproximadamente 10 y aproximadamente 50 micrómetros y la capa de electrolito 62 puede tener un grosor entre aproximadamente 100 micrómetros y aproximadamente 1 mm de grosor, con un grosor preferido de aproximadamente 500 micrómetros. La capa de electrolito 62 es impermeable a gases y puede ser de más de aproximadamente el 95 por ciento opaca y preferiblemente de más del 99 por ciento opaca. La capa de cátodo 58 y la capa de ánodo 60 pueden tener una porosidad de entre aproximadamente un 30 por ciento y aproximadamente un 50 por ciento y pueden formarse de  $(La_{0.8}Sr_{0.2})_{0.98}MnO_{3.5}$ . La capa de electrolito 62 puede ser óxido de circonio dopado con escandio 6 mol%. Las capas de colector de corriente 64 y 66 pueden tener un grosor comprendido entre aproximadamente 50 y aproximadamente 150 micrómetros, tener una porosidad de entre aproximadamente un 30 por ciento y aproximadamente un 50 por ciento y pueden formarse de un polvo de partículas de plata que tiene depósitos superficiales de óxido de circonio. Este tipo de polvo puede ser producido por métodos bien conocidos en la técnica, por ejemplo, revestimiento por inmersión o aleación mecánica. Con la finalidad de ejemplo, un polvo plateado, designado como polvo FERRO S11000-02, puede obtenerse de Ferro Corporation, Electronic Material Systems, 3900 South Clinton Avenue, South Plainfield, Nueva Jersey 07080 EE.UU. El tamaño de las partículas contenidas en dicho polvo está entre aproximadamente 3 y aproximadamente 10 micrómetros de diámetro y las partículas tienen una pequeña área superficial específica de aproximadamente 0,2 m<sup>2</sup>/gramo. Los depósitos superficiales de óxido de circonio se pueden formar en ese polvo de tal manera que el óxido de circonio representa aproximadamente el 0,25 por ciento del peso de las partículas recubiertas.

Durante el funcionamiento del separador 1 de oxígeno, el oxígeno contenido en la corriente 36 de sustancia de entrada que contiene oxígeno contacta con la capa de colector 64 y penetra a través de los poros de la misma a la capa de cátodo 58 que, como se indicó anteriormente, también es porosa. El oxígeno se ioniza como resultado de un potencial eléctrico aplicado a las capas de cátodo y de ánodo 58 y 60 en las capas de colector de corriente 64 y 66. Los iones de oxígeno resultantes se transportan a través de la capa de electrolito 62, bajo la fuerza impulsora del potencial aplicado y emergen en el lado de la capa de electrolito 62 junto a la capa de ánodo 60, en donde se obtienen electrones para formar oxígeno elemental. El oxígeno penetra a través de los poros de la capa de ánodo 60

y el colector de corriente adyacente 66, en el que el oxígeno pasa hacia el interior del elemento de membrana tubular 14.

5 Cabe señalar que aunque la capa de cátodo está ubicada en el exterior de los elementos de membrana tubular 14, es posible invertir las capas, de modo que la capa de ánodo esté ubicada en el exterior de los elementos de membrana tubular 14 y la capa de cátodo esté ubicada en el interior. Esta realización se utilizaría cuando el dispositivo se utilizara como purificador. En este caso, la sustancia que contiene oxígeno fluiría en el interior de los elementos de membrana tubular 14.

10 Haciendo referencia adicional a las Figs. 4 y 5, el potencial eléctrico, generado por una fuente de energía 70, puede aplicarse a los elementos de membrana tubular 14 por medio de un grupo de conductores que se han formado a partir de alambres, preferiblemente de plata. Un primer par de los conductores 72 y 74 se conecta en las dos ubicaciones centrales espaciadas 76 del primero de los elementos de membrana tubular 14 en la capa de colector de corriente 64 y al polo negativo de la fuente de energía 70. Un segundo par de los conductores 78 y 80 conecta la capa de ánodo 60 del último de los elementos de membrana tubular 14 al polo positivo de la fuente de energía eléctrica por medio de un alambre de plata 79 que une el conductor 78 y 80 y un alambre 81 que está conectado al polo positivo de fuente de energía eléctrica 70. El segundo par de conductores 78 y 80 está en contacto eléctrico con la capa de colector de corriente 66 junto a la capa de ánodo 60, preferiblemente en varios puntos de contacto, por medio de una conexión a extremos opuestos de un distribuidor de corriente 82, se muestra más claramente en la Fig. 4, que puede tener una configuración helicoidal y, de este modo, se forma a partir de una longitud de alambre de plata que se enrolla en espiral hasta la configuración helicoidal. Los pares restantes de conductores formados por los alambres aislados 84, 86 y 88, 90 unen los pares de elementos restantes de membrana tubular 14 en las dos ubicaciones centrales espaciadas 76 y a los extremos de los distribuidores de corriente 80 empleados dentro de tales elementos de membrana tubular 14. La conexión eléctrica resultante es una conexión eléctrica en serie. Sin embargo, también es posible una conexión eléctrica en paralelo. Además, como se ha indicado anteriormente, en un dispositivo en particular en el que se emplee la presente invención sólo podría utilizarse uno de los elementos de membrana tubular 14 y por lo tanto, tal realización sólo utiliza el primer y el segundo par de conductores 72, 74, 78 y 80.

30 Haciendo referencia específica a la Fig. 5, cabe señalar que, con la finalidad de ilustración, la capa de cátodo 58 y su colector de corriente asociado 64 se muestran como un solo elemento, así como la capa de ánodo 60 y su capa de colector de corriente asociado 66. Como se muestra en la Fig. 5, las ubicaciones centrales espaciadas 76 están formados por alambres en circuito 86 y 90, alrededor del elemento de membrana tubular 14 y que mantienen los alambres en circuito 92 en su sitio mediante unos depósitos de pasta de plata 94. Los alambres 86 y 90 pasan luego a través de unos agujeros 96 y 98 que se proporcionan en los miembros de aislamiento 16 y 18, respectivamente. Aunque no se ilustra, los alambres 86 y 90 se pueden envolver alrededor del exterior del elemento de membrana tubular 14 antes de pasar a través de los agujeros 96 y 98 para evitar que se hundan en otros tubos. Cabe señalar que los extremos de cada uno de los elementos de membrana tubular 14 está sellado por unas tapas extremas 50 que se mantienen en su sitio mediante unos depósitos 100 y las conexiones pasantes eléctricas 52 y 54 y las salidas 56 se mantienen en su sitio mediante unos depósitos 102. Cabe señalar que las tapas extremas 50 pueden formarse por prensado o moldeado inyectado de óxido de circonio y los depósitos 100 y 102 pueden formarse a partir de un sistema de material de sellado de vidrio, ya sea un sistema de borosilicato de plomo o un sistema de aluminosilicato de bario. Hay otras formas posibles para formar los sellos extremos. Por ejemplo, el propio material de sellado de vidrio o una mezcla de ese material con un óxido podrían colocarse en los extremos de los tubos. Este tipo de material podría calentarse y enfriarse hasta su solidificación. Los alambres 84 y 88 pasan a través de las conexiones pasantes eléctricas 52 y 54 que a su vez están selladas por unos depósitos 104 de material de soldadura, preferiblemente una composición del 50 por ciento de Ag, Cu, Zn, Sn, Ni.

45 Como se mencionó anteriormente, las dos ubicaciones centrales espaciadas 76 de los elementos de membrana tubular 14 permiten que la corriente eléctrica inducida en los elementos de membrana tubular 14 sea distribuida entre los extremos de esos elementos y las dos ubicaciones centrales espaciadas 76 de modo que la corriente sea distribuida más uniformemente a lo largo de los elementos de membrana tubular 14. Como resultado, la distribución de la temperatura es más uniforme y tiene lugar el transporte de más iones de oxígeno en cada uno de los elementos de membrana tubular 14 que lo que tenía el potencial aplicado sólo en dos ubicaciones extremas de los elementos de membrana tubular 14 como en la técnica anterior.

55 Cabe señalar que se puede obtener alguna ventaja, aunque menor ventaja que cuando se utiliza el distribuidor de corriente 82, mediante la conexión de los alambres 84 y 90 en ubicaciones extremas de cada uno de los elementos de membrana tubular 14 que están espaciados hacia fuera respecto las dos ubicaciones centrales 76. Por motivos que se mencionarán, esas ubicaciones extremas están preferiblemente dentro de los tubos en unas regiones de los mismos que no están rodeadas por los aislantes extremos 16 y 18. Un punto adicional es que si los elementos de membrana tubular 14 se utilizaran para aplicaciones de purificación, las dos ubicaciones espaciadas podrían colocarse dentro de dichos elementos. Como alternativa, en cualquier realización de la presente invención, las dos ubicaciones espaciadas pueden colocarse junto a la capa de ánodo 60.

60 En un ejemplo de las condiciones típicas de funcionamiento a una temperatura de funcionamiento nominal de 700 °C, cada uno de los elementos de membrana tubular recibe un suministro de 1,1 V de CC de una fuente de energía

de valor nominal de por lo menos 6,6 V. La corriente total resultante que fluye a través de todo el circuito que incluye la corriente de iones de oxígeno a través del electrolito de los elementos de membrana tubular 14 es de aproximadamente 22,5 amperios. Con esta corriente hay asociado un flujo de oxígeno de aproximadamente 0,83 litros por tubo o a grosso modo 0,5 litros para la agrupación de seis tubos y sale por la salida 38 del tubo múltiple 40.

5 Aproximadamente la mitad de la corriente eléctrica, aproximadamente 11,25 amperios, fluye a través del circuito en serie creado entre un extremo de cada uno de los elementos de membrana tubular 14 a una de las dos ubicaciones centrales espaciadas 76 y la otra mitad pasa a través del circuito en serie creado en la otra mitad de los elementos de membrana tubular 14 entre la otra de las dos ubicaciones centrales y el otro extremo opuesto de los mismos. De esta manera, la corriente se distribuye de manera relativamente uniforme por toda la longitud de los elementos de membrana tubular 14. Esta distribución uniforme de corriente es importante porque como cada uno de los elementos de membrana tubular 14 se calienta como resultado de la energía disipada durante el funcionamiento. Haciendo referencia a la Fig. 6, se ha trazado la temperatura de un elemento de membrana tubular cuando el potencial eléctrico en el cátodo se aplica exclusivamente a los extremos del tubo, cerca de las tapas extremas 50 (los datos presentados en círculos) y cuando el potencial eléctrico en el cátodo se aplica en las ubicaciones centradas 76 (los datos presentados como cuadrados). Como es evidente a partir del gráfico, el aumento de temperatura y por lo tanto la distribución de corriente a lo largo de la longitud del tubo se gestiona mejor al ubicar los conductores que contactan con el cátodo en el centro de los tubos.

Como se puede apreciar, la descripción anterior es sólo con fines de ejemplo. Por ejemplo, cada uno de los elementos de membrana tubular podría ser de 27,5 cm. Se usaría aproximadamente el doble de elementos y la tensión aplicada a cada uno de tales elementos sería 1,1 voltios con una corriente de 11,25 amperios. Esta menor corriente de funcionamiento permitiría una mayor longevidad para cada uno de los elementos de membrana tubular.

Continuando con la referencia a la Fig. 5, se puede ver que en las secciones extremas opuestas exteriores de cada uno de los elementos de membrana tubular se encuentra dentro de los aislantes 16, 18 que a su vez se encuentran dentro de la pared extrema aislada 28 y 30 del confinamiento calentado 12. Como resultado, en tales ubicaciones no tiene lugar esencialmente el transporte de oxígeno. Al mismo tiempo, como se ha indicado anteriormente, la temperatura de cada uno de los elementos se aumenta aproximadamente 500 °C. Tal como se ilustra, los extremos de cada uno de los elementos de membrana tubular 14 están desprovistos tanto de la capa de cátodo 58 como de su colector de corriente asociado 64 de modo que no fluya corriente dentro de los elementos de membrana tubular 14 en esas ubicaciones. Se ha encontrado que cuando los elementos de membrana tubular se diseñan con flujo de corriente eléctrica dentro de esa sección extrema aislada, la cerámica tenderá a sufrir una reacción de reducción química en esas secciones extremas con la consiguiente posibilidad de que se produzca un fallo de los elementos. Cabe señalar, sin embargo, que ventajosamente, la capa del ánodo 60 y su asociada capa de colector de corriente 66 también se pueden dispensar en esas ubicaciones para asegurarse de que no haya flujo de corriente en los extremos aislados de los elementos de membrana tubular. Cabe señalar que son posibles unas realizaciones de la presente invención en las que las capas de ánodo y de cátodo y sus asociadas capas de colector de corriente se extienden a los extremos físicos de los elementos de membrana tubular 14 incluso cuando se cubren con un miembro aislante, pero por las razones indicadas anteriormente, esto no es aconsejable.

Como se ha indicado anteriormente, son posibles unas realizaciones de la presente invención sin los distribuidores de corriente 82. En tal caso, la capa de ánodo 62 y su colector de corriente asociado 66 podrían terminar en los miembros de aislante 16 y 18, y los alambres 84 y 88 se conectarían dentro de los elementos de membrana tubular 14 hacia dentro de los extremos de los mismos y los miembros extremos aislantes 16 y 18. Como tal, las ubicaciones extremas en las que se aplicaría el potencial estarían espaciadas hacia dentro desde los extremos físicos de los elementos de membrana tubular.

Haciendo referencia a la Fig. 7, se ilustra un elemento de membrana tubular 14' que constituye una realización alternativa del elemento de membrana tubular 14 mencionado anteriormente que incorpora unos sellos extremos 110 en lugar de las tapas extremas 50 empleadas en el elemento de membrana tubular 14. Con el fin de evitar la repetición innecesaria de explicación, los elementos mostrados en la Fig. 7, que se han descrito anteriormente con respecto al elemento de membrana tubular 14, tienen los mismos números de referencia. Cabe señalar que, en esta realización particular, las secciones extremas opuestas exteriores del elemento de membrana tubular 14' dentro de los aislantes 16 y 18 están desprovistas de las capas de cátodo y de ánodo 58 y 60 en las capas de colector de corriente 64 y 66. Como se ha indicado anteriormente, es posible construir el elemento de membrana tubular 14 de manera similar o, por otro lado, construir el elemento de membrana tubular 14' de la manera ilustrada específicamente en los dibujos para el elemento de membrana tubular 14, aunque se prefiere menos.

Los sellos extremos 110 y 111 se forman mediante unos miembros tipo tapón 112 y 114 que se fabrican a partir de un elastómero para efectuar un sellado hermético en los extremos del elemento de membrana tubular 14'. Un elastómero adecuado es el fluoroelastómero VITON® obtenidos a través de Dupont Performance Elastomers de Willmington, Delaware, Estados Unidos de América.

Durante el funcionamiento del elemento de membrana tubular 14', el oxígeno se acumulará y tenderá a forzar los miembros tipo tapón 112 y 114 en dirección hacia fuera y desde los extremos del elemento de membrana tubular 14'. Con el fin de retener los miembros tipo tapón 112 y 114 dentro del extremo del elemento de membrana tubular

14', se introducen unos depósitos de adhesivo cerámico 116 y 118 en los extremos del elemento de membrana tubular 14' en una ubicación junto al miembro tipo tapón 112 y el miembro tipo tapón 114, respectivamente. Un adhesivo cerámico adecuado puede ser un adhesivo de endurecimiento rápido RESBOND™ 940 fabricado por Cotronics Corporation de Brooklyn, Nueva York, Estados Unidos de América. Cabe señalar que podrían emplearse otros medios adecuados para retener el miembro tipo tapón 112 y 114 tales como chavetas mecánicas situadas junto al miembro tipo tapón 112 que penetran en unos agujeros transversales opuestos definidos en los extremos del elemento de membrana tubular 14' o unos manguitos cementados en su sitio dentro de los extremos del elemento de membrana tubular 14'.

Tal como se ilustra, las conexiones pasantes eléctricas 52 y 54 penetran en cada depósito 116 y 118, respectivamente, y los miembros tipo tapón 112 y 114, respectivamente. En este sentido se define un agujero axial 120 dentro del miembro tipo tapón 112 para la penetración de la conexión pasante eléctrica 52 y se define un agujero 122 dentro del miembro tipo tapón 114 para la penetración de una conexión pasante eléctrica 52. Además, la salida 56 penetra el miembro tipo tapón 114 y se proporciona un agujero 124 para esa finalidad.

Con el fin de instalar los miembros tipo tapón 112 y 114 dentro del extremo del elemento de membrana tubular 14', el mismo se fabrica con un diámetro exterior mayor que el diámetro interior del elemento de membrana tubular 14' y luego se enfría con nitrógeno líquido. El porcentaje de diferencia de diámetros puede ser de aproximadamente el 10 por ciento. A partir de ese momento, los miembros tipo tapón 112 y 114 se instalan en los extremos del elemento de membrana tubular 14' y como tal los miembros se calientan a la temperatura ambiente, los mismos se expanden para producir un sellado hermético dentro de los extremos del elemento de membrana tubular 14'. Además, cada uno de los agujeros 120, 122 y 124 tiene un tamaño menor que las conexiones pasantes eléctricas asociadas 52 y 54 y la salida 56. Después de la instalación y el calentamiento de los miembros tipo tapón 112 y 114, las conexiones pasantes eléctricas 52 y 54 y la salida 56 se ven forzadas a través de los agujeros más pequeños para crear unos sellos herméticos. A partir de ese momento, los extremos se llenan con los depósitos de adhesivo cerámico 116 y 118 para completar los sellos extremos.

Como se puede apreciar, podría utilizarse el sello extremo de los elementos tipo tapón 112 y 114 y unos medios de retención, tales como un depósito de adhesivo cerámico, en cualquier elemento tubular de separación de oxígeno impulsada eléctricamente. Por ejemplo, es posible fabricar dichos elementos de modo que los mismos se cierran en un extremo. En tal caso, sólo un única conexión pasante eléctrica sellada y un conducto de salida penetrarían en ese sello extremo. Además, cuando el elemento tubular de separación de oxígeno impulsada eléctricamente se fabrica para ser abierto en ambos extremos, se podría utilizar un sello de ese tipo para sellar uno de los extremos del mismo y consistiría en un elemento tipo tapón que parecería casi el mismo que, por ejemplo, el elemento tipo tapón 112 sin el agujero 120 y un depósito de adhesivo cerámico.

Aunque la presente invención se ha descrito haciendo referencia a una realización preferida, como se les ocurrirá a los expertos en la técnica, se pueden hacer numerosos cambios, adiciones y omisiones sin apartarse del alcance de la presente invención tal como se establece en las reivindicaciones adjuntas.

**REIVINDICACIONES**

1. Un conjunto (10) de separación de oxígeno impulsada eléctricamente que comprende:

5 por lo menos un elemento de membrana tubular (14) que tiene una capa de ánodo (60), una capa de ánodo (58), una capa de electrolito (62) ubicada entre la capa de ánodo (60) y la capa de cátodo (58) y dos capas de colector de corriente (64, 66) ubicadas junto y en contacto con la capa de ánodo (60) y la capa de cátodo (58) y ubicadas en el interior y exterior del por lo menos un elemento de membrana tubular (14) para permitir que un potencial eléctrico sea aplicado por una fuente de energía (70) para inducir el transporte de iones de oxígeno a través del capa de electrolito (62) desde la capa de cátodo (58) hacia la capa de ánodo (60); y

10 un grupo de conductores (72, 74, 78, 80) conectados a una (64) de las dos capas de colector de corriente (64, 66) en dos ubicaciones centrales espaciadas (76) del por lo menos un elemento de membrana tubular (14) y a la otra (66) de las dos capas de colector de corriente (64, 66) por lo menos en ubicaciones extremas opuestas del por lo menos un elemento de membrana tubular (14) espaciadas hacia fuera de las dos ubicaciones centrales espaciadas (76) de modo que la fuente de energía (70) sea capaz de aplicar potencial eléctrico a través del grupo de conductores (72, 74, 78, 80, 84, 86, 88, 90) entre las dos ubicaciones centrales espaciadas (76) y por lo menos las dos ubicaciones extremas opuestas y una corriente eléctrica que fluye a través del por lo menos un elemento de membrana tubular (14) inducida por el potencial eléctrico se divide en dos partes que fluyen entre las dos ubicaciones centrales espaciadas (76) y las ubicaciones extremas opuestas.

2. El conjunto (10) de separación de oxígeno impulsada eléctricamente de la reivindicación 1, en donde:

20 unas secciones extremas opuestas exteriores del por lo menos un elemento de membrana tubular (14) se retienen dentro de unos miembros de aislamiento (16, 18);

la una (64) de las dos capas de colector de corriente (64, 66) está situada en el exterior del por lo menos un elemento de membrana tubular (14);

la capa de cátodo (53) está junto a la una (64) de las dos capas de colector de corriente (64, 66); y

25 la capa de cátodo (58) y la una (64) de las dos capas de colector de corriente (64, 66) se extiende parcialmente a lo largo de una dimensión longitudinal del por lo menos un elemento de membrana tubular (14) de tal manera que las secciones extremas opuestas exteriores del por lo menos un elemento de membrana tubular (14) están desprovistas de por lo menos la capa de cátodo (58) y la una (64) de las dos capas de colector de corriente (64, 66).

3. El conjunto (10) de separación de oxígeno impulsada eléctricamente de la reivindicación 2, en donde:

30 un distribuidor de corriente (82) de configuración alargada está ubicado dentro del por lo menos un elemento de membrana tubular (14), se extiende entre los extremos del por lo menos un elemento de membrana tubular (14) y está en contacto con la otra (66) de las dos capas de colector de corriente (64, 66) en una pluralidad de puntos situados dentro de los elementos de membrana tubular (14); y

los conductores (78, 80, 84, 88) conectados en ubicaciones extremas opuestas de los elementos de membrana tubular (14) se conectan en extremos opuestos del distribuidor de corriente (82).

35 4. El conjunto (10) de separación oxígeno impulsada eléctricamente de la reivindicación 3, en donde el distribuidor de corriente (82) tiene una configuración helicoidal.

5. El conjunto (10) de separación de oxígeno impulsada eléctricamente de la reivindicación 4, en donde;

40 el por lo menos un elemento de membrana tubular (14) tiene unos sellos extremos opuestos (50, 110), unas conexiones pasantes eléctricas selladas opuestas (52, 54) que penetran en los sellos extremos opuestos (50) y un tubo de salida (56) que penetra en uno de los sellos extremos opuestos (50, 110) para descargar el oxígeno; y

los conductores (78, 80, 84, 88) conectados al por lo menos un elemento de membrana tubular (14) en las dos ubicaciones extremas opuestas pasan a través de unas conexiones pasantes de alimentación eléctrica (52, 54) y están conectados al distribuidor de corriente (82).

6. El conjunto (10) de separación de oxígeno impulsada eléctricamente de la reivindicación 1, en donde;

45 el por lo menos un elemento de membrana tubular (14) es una pluralidad de elementos de membrana tubular (14); y

50 la pluralidad de elementos de membrana tubular (14) están conectados eléctricamente en serie mediante el grupo de los conductores, con un primer par de los conductores (72, 74) conectados a las dos ubicaciones centrales espaciadas (76) del primero de los elementos de membrana tubular, un segundo par de los conductores (78, 80) conectados a las ubicaciones extremas opuestas de un segundo de los elementos de membrana tubular y los pares restantes de los conductores (84, 86, 88, 90) unen los pares de los restantes elementos de membrana tubular en las dos ubicaciones centrales espaciadas (76) y, por lo menos en las ubicaciones extremas opuestas de los mismos de

modo que el primer par de conductores (72, 74) y el segundo par de conductores (78, 80) son capaces de conectarse a una fuente de energía eléctrica (70).

5 7. El conjunto (10) de separación de oxígeno impulsada eléctricamente de la reivindicación 6, en donde el uno (64) de los dos colectores de corriente (64, 66) está situado en el exterior de cada uno de los elementos de membrana tubular (14) junto a la capa de cátodo (58) y el otro (66) de los dos colectores de corriente (64, 66) está situado en el interior de los elementos de membrana tubular (14) junto a la capa de ánodo (60).

8. El conjunto (10) de separación de oxígeno impulsada eléctricamente de la reivindicación 7, en donde:

10 los elementos de membrana tubular (14) se disponen en una agrupación y se mantienen en una distribución radial mediante unos miembros opuestos de aislamiento (16, 18) situados en unas secciones extremas opuestas de los elementos de membrana tubular (14);

los elementos de membrana tubular (14) tienen unos sellos extremos opuestos (50), unas conexiones pasantes eléctricas selladas opuestas (52, 54) que penetran en los sellos extremos opuestos (50) y unos tubos de salida (56) que penetran en los sellos extremos opuestos (50, 110) en un extremo de la agrupación para descargar el oxígeno;

15 los conductores (78, 80, 84, 88) conectados a los elementos de membrana tubular (14) en las dos ubicaciones extremas opuestas pasan a través de las conexiones pasantes eléctricas (52, 54) y están en contacto eléctrico con el otro (66) de los dos colectores de corriente (64, 66); y

un tubo múltiple (38) está conectado a la salida y tiene una salida común para descargar el oxígeno que se descarga desde los tubos de salida.

20 9. El conjunto (10) de separación de oxígeno impulsada eléctricamente de la reivindicación 8, en donde los sellos extremos (110) comprenden unos miembros tipo tapón (112, 114) ubicados dentro de los elementos de membrana tubular (14) formados por un elastómero para producir un sello hermético y unos medios (116, 118) para retener los miembros tipo tapón dentro de los elementos de membrana tubular.

25 10. El conjunto (10) de separación de oxígeno impulsada eléctricamente de la reivindicación 9, en donde los medios de retención (116, 118) son un depósito de adhesivo cerámico ubicado dentro del elemento de membrana tubular (14) junto al miembro tipo tapón (112, 114) y que está colocado para evitar el movimiento hacia fuera del miembro tipo tapón.

30 11. El conjunto (10) de separación de oxígeno impulsada eléctricamente de la reivindicación 8, en donde la capa de cátodo (58) y la una (64) de las dos capas de colector de corriente (64, 66) se extienden parcialmente a lo largo de una dimensión longitudinal de los elementos de membrana tubular (14) de tal manera que las secciones extremas opuestas exteriores de los elementos de membrana tubular (14) están desprovistas de por lo menos la capa de cátodo (58) y la una (66) de las dos capas de colector de corriente (64, 66).

12. El conjunto (10) de separación de oxígeno impulsada eléctricamente de la reivindicación 7 o 9, en donde:

35 un distribuidor de corriente (82) de configuración alargada está ubicado dentro de cada uno de los elementos de membrana tubular (14), se extiende entre los elementos de membrana tubular y está en contacto con el otro (66) de los dos colectores de corriente (64, 66) en una pluralidad de puntos situados dentro de los elementos de membrana tubular (14); y

los conductores (78, 80, 84, 88) conectados en ubicaciones extremas opuestas de los elementos de membrana tubular (14) se conectan en extremos opuestos del distribuidor de corriente (82).

40 13. El conjunto (10) de separación oxígeno impulsada eléctricamente de la reivindicación 12, en donde el distribuidor de corriente (82) tiene una configuración helicoidal.

14. Un método para aplicar un potencial eléctrico en un conjunto (10) de separación de oxígeno impulsada eléctricamente, que comprende:

45 aplicar el potencial eléctrico a por lo menos un elemento de membrana tubular (14) que tiene una capa de ánodo (60), una capa de cátodo (58), una capa de electrolito (62) formada de material de electrolito y ubicada entre la capa de ánodo (60) y la capa de cátodo (58) y dos capas de colector de corriente (64, 66) ubicadas junto y en contacto con la capa de ánodo (60) y con la capa de cátodo (58), y situadas en el interior y el exterior del por lo menos un elemento de membrana tubular (14) y

50 el potencial eléctrico se aplica a una (64) de las dos capas de colector de corriente (64, 66) en dos ubicaciones centrales espaciadas (76) del por lo menos un elemento de membrana tubular (14) y la otra (66) de las dos capas de colector de corriente (64, 66) por lo menos en ubicaciones extremas opuestas del por lo menos un elemento de membrana tubular (14), espaciadas hacia fuera desde las dos ubicaciones centrales espaciadas (76) de modo que una corriente eléctrica que fluye a través del por lo menos un elemento de membrana tubular (14), inducida por el

potencial eléctrico aplicado, se divide en dos partes que circulan entre las dos ubicaciones centrales espaciadas (76) y las ubicaciones extremas opuestas.

15. El método de la reivindicación 14, en donde:

5 la una (64) de las dos capas de colector de corriente (64, 66) está ubicada en el exterior del elemento de membrana tubular (14);

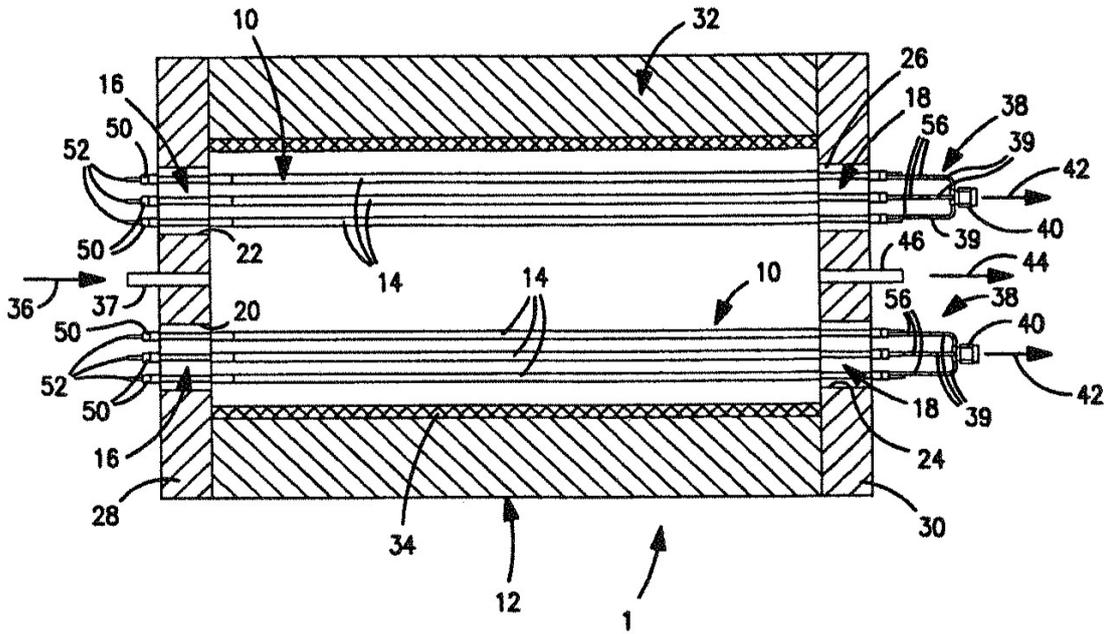
el cátodo (58) está ubicado junto a la una (64) de las dos capas de colector de corriente (64, 66); y la otra (66) de las dos capas de colector de corriente (64, 66) está ubicada en el interior del elemento de membrana tubular (14), junto a la capa de ánodo (60).

16. El método de la reivindicación 15, en donde:

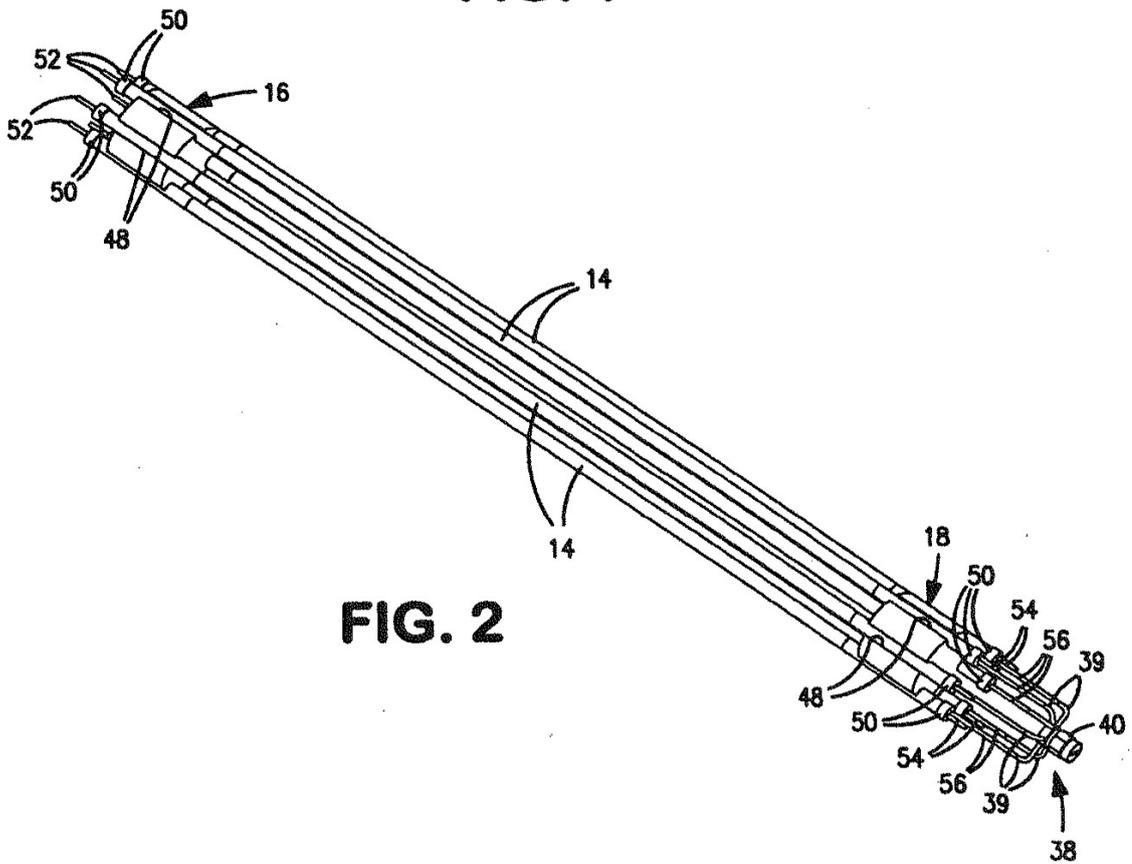
10 unas secciones extremas opuestas exteriores del por lo menos un elemento de membrana tubular (14) se retienen dentro de unos miembros de aislamiento (16, 18);

15 la capa de cátodo (58) y la una (64) de las dos capas de colector de corriente (64, 66) se extienden parcialmente a lo largo de una dimensión longitudinal del elemento de membrana tubular (14) de tal manera que las secciones extremas opuestas exteriores del elemento de membrana tubular (14) están desprovistas de por lo menos la capa de cátodo (58) y la una (64) de las dos capas de colector de corriente (64, 66).

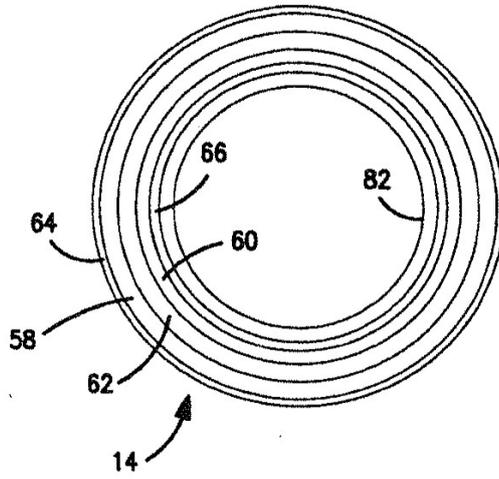
17. El método de la reivindicación 16, en donde la corriente se aplica a la otra (66) de las capas de colector de corriente (64, 66) en una pluralidad de puntos situados dentro del elemento de membrana tubular (14) entre las ubicaciones extremas del mismo.



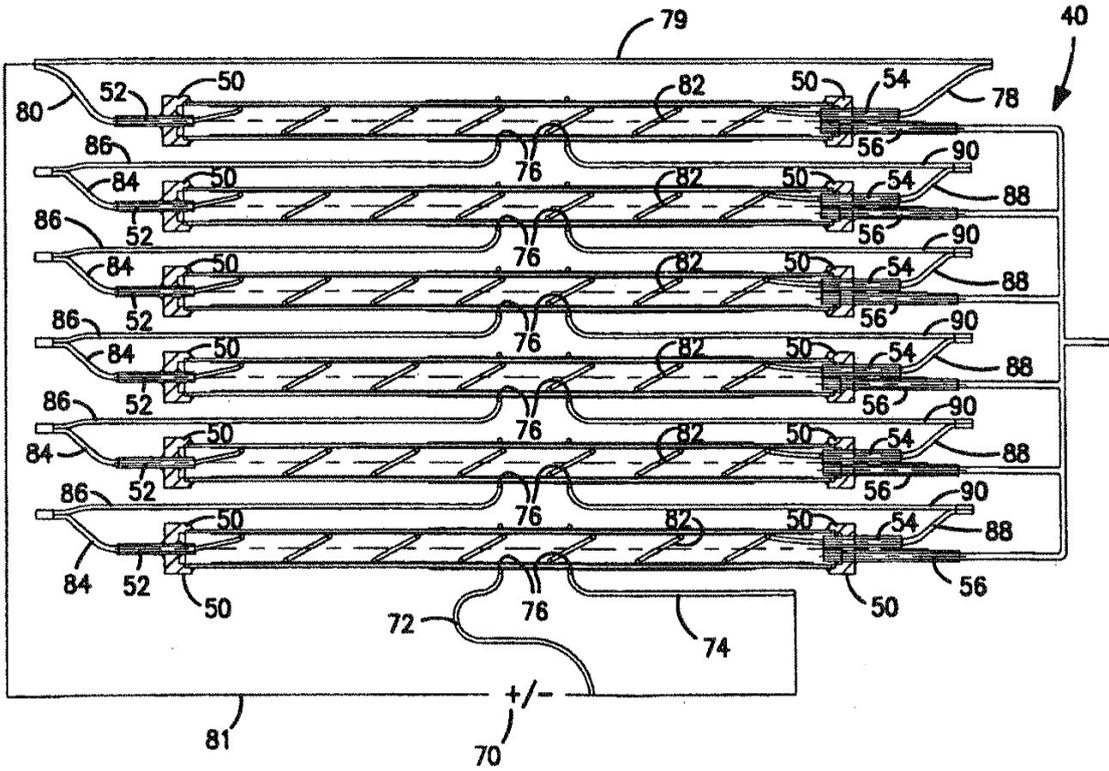
**FIG. 1**



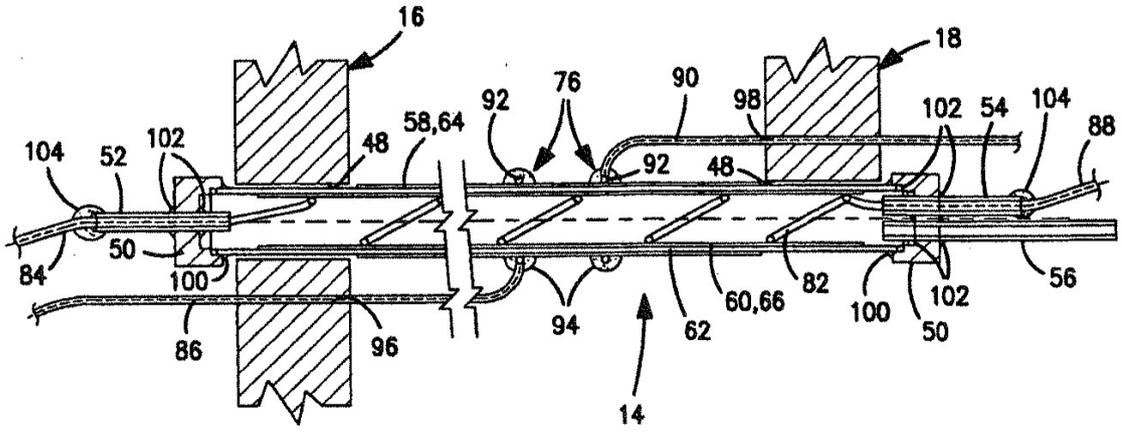
**FIG. 2**



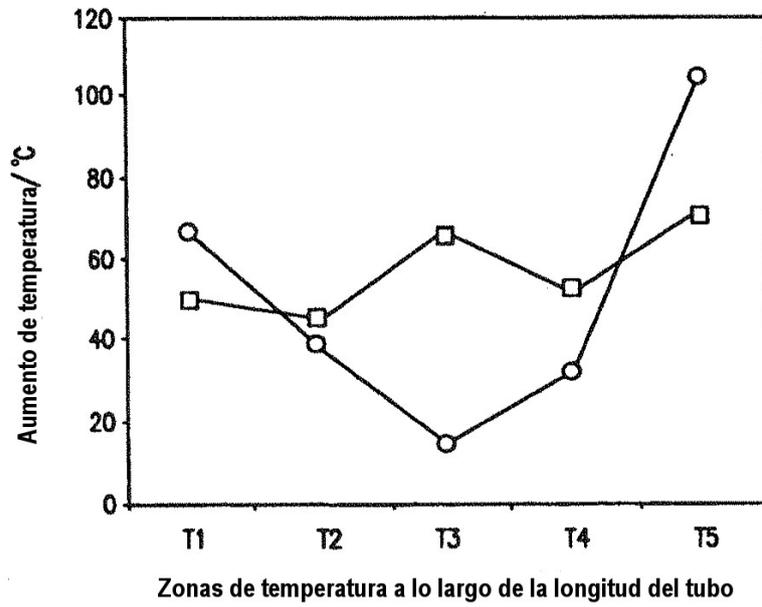
**FIG. 3**



**FIG. 4**



**FIG. 5**



**FIG. 6**

