

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 534 816**

51 Int. Cl.:

**B01D 53/22** (2006.01)

**B01D 53/32** (2006.01)

**C01B 13/02** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **24.02.2012 E 12719483 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **08.04.2015 EP 2694190**

54 Título: **Método y aparato para controlar la energía eléctrica aplicada a un dispositivo de separación de oxígeno accionado eléctricamente que tiene uno o más elementos de membrana compuesta para separar el oxígeno a partir de una corriente de alimentación que contiene oxígeno**

30 Prioridad:

**07.04.2011 US 201113081808**

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

**28.04.2015**

73 Titular/es:

**PRAXAIR TECHNOLOGY, INC. (100.0%)  
39 Old Ridgebury Road  
Danbury, CT 06810, US**

72 Inventor/es:

**COLLINS, MICHAEL, J.;  
SUGGS, DAVID, F.;  
SWAMI, SADASHIV, M. y  
KELLY, RICHARD, M.**

74 Agente/Representante:

**DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto**

**ES 2 534 816 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 aparato para controlar la energía eléctrica aplicada a un dispositivo de separación de oxígeno accionado eléctricamente que tiene uno o más elementos de membrana compuesta para separar el oxígeno a partir de una corriente de alimentación que contiene oxígeno

5 **Campo de la invención**

La presente invención se refiere a un procedimiento y un aparato para controlar la energía eléctrica aplicada a un dispositivo de separación de oxígeno, accionado eléctricamente, que emplea uno o más elementos de membrana compuesta que tiene electrodos anódicos y catódicos y un electrolito situado entre los electrodos anódicos y catódicos para separar el oxígeno a partir de una corriente de alimentación que contiene oxígeno. Más particularmente, la presente invención se refiere a dichos un procedimiento y un aparato en los que una diferencia de potencial aplicada a los elementos de membrana es aumentada con el tiempo para mantener constante la corriente eléctrica consumida por el elemento de membrana compuesta durante el aumento y, posteriormente, se mantiene a un nivel constante.

**Antecedentes de la invención**

15 Los dispositivos de separación de oxígeno accionados eléctricamente emplean uno o más elementos de membrana compuesta que tienen electrodos anódicos y catódicos situados en lados opuestos de un electrolito para aplicar una diferencia de potencial eléctrico al electrolito. El electrolito es un material cerámico que, a una temperatura elevada y durante la aplicación de la diferencia de potencial, es capaz de transportar iones de oxígeno cuando es calentado a una temperatura de funcionamiento elevada. Cuando la diferencia de potencial eléctrico es aplicada a los electrodos y el electrodo catódico está en contacto con una corriente de alimentación que contiene oxígeno, se inducirá un transporte de iones de oxígeno a través del electrolito para separar el oxígeno de la corriente de alimentación que contiene oxígeno para producir oxígeno molecular en el colector anódico. Dichos dispositivos de separación de oxígeno pueden ser usados para purificar la corriente de alimentación o para producir un producto de oxígeno cuando la corriente de alimentación contiene suficiente oxígeno en el caso del aire. Típicamente, el separador de oxígeno accionado eléctricamente tiene un recinto calentado eléctricamente que contiene los elementos de membrana compuesta para calentar dichos elementos de membrana hasta la temperatura de funcionamiento a la que es posible el transporte de iones de oxígeno a través del electrolito.

Aunque hay diversas formas de dichos dispositivos de separación de oxígeno accionados eléctricamente, todos los elementos de separación de oxígeno usados en dichos dispositivos de separación emplean un electrolito que es, al menos principalmente, un conductor de iones de oxígeno, tal como óxido de cerio (ceria) dopado con gadolinio o, más exclusivamente, un conductor de iones de oxígeno, tal como zirconia estabilizada con escandio y/o itrio y electrodos eléctricamente conductores que pueden ser una perovskita eléctricamente conductora revestida por un colector conductor de corriente realizado en plata. Los elementos de membrana compuesta pueden adoptar una diversidad de formas, tales como un único tubo, una serie de tubos, placas planas y estructuras similares a placas que tienen proyecciones tubulares moldeadas integralmente. Por ejemplo, tal como se ilustra en la solicitud de patente US N° 2010/116133, se ilustra un dispositivo de separación de oxígeno accionado eléctricamente que utiliza conjuntos de elementos tubulares que están conectados mediante distribuidores que, a su vez, están incluidos en un recinto calentado eléctricamente. Cada elemento tubular está provisto de una capa catódica, una capa anódica y una capa electrolítica. Además, dos capas colectoras de corriente están localizadas contiguas a las capas anódicas y catódicas, donde la diferencia de potencial eléctrico es aplicada realmente al ánodo y al cátodo. Cada una de las capas catódicas y anódicas es formada en  $(La_{0,8}Sr_{0,2})_{0,98}MnO_{3-\delta}$ . La capa de electrolito es de 6% moles de zirconia dopada con escandio. Las capas colectoras de corriente se forman a partir de un polvo de partículas de plata que tienen depósitos superficiales de óxido de zirconio para inhibir el envejecimiento de las capas colectoras de corriente. Con el fin de proporcionar un contacto entre la corriente de alimentación que contiene oxígeno y el electrolito y para permitir la difusión del oxígeno hacia y desde el electrolito, la totalidad de dichos colectores de corriente y electrodos son porosos. En la solicitud de patente publicada anterior, los conjuntos de tubos están localizados dentro de un recinto calentado que tiene una entrada para recibir la corriente de alimentación que contiene oxígeno y una salida en comunicación de fluido con los distribuidores conectados a los elementos tubulares. Los elementos calentadores se proporcionan dentro del aislamiento del recinto con el fin de calentar el interior del recinto y los elementos de membrana compuesta a una temperatura de funcionamiento a la que puede producirse el transporte de iones de oxígeno a través del electrolito.

Tal como se conoce en la técnica, el oxígeno producido por los dispositivos de separación de oxígeno accionados eléctricamente será proporcional a la corriente consumida por los elementos de membrana compuesta. Sin embargo, los elementos de membrana compuesta y, específicamente, los elementos empleados en dichos elementos, se degradan o envejecen con el tiempo principalmente debido al cierre de los poros, la evaporación de los elementos metálicos, tales como la plata, la migración de la plata desde el cátodo al electrolito, las reacciones

que ocurren entre los electrodos y el electrolito y la deslaminación del colector de corriente. Conforme dichos elementos envejecen, aumentará la resistencia de los elementos y, por lo tanto, si se aplicara una diferencia de potencial o un voltaje constante, la corriente disminuiría con el tiempo y, por consiguiente, el oxígeno producido por el dispositivo de separación. Por lo tanto, se sabe que la fuente de alimentación que se usa para producir la diferencia de potencial a ser aplicada debería ser una fuente de alimentación de corriente constante. Sin embargo, si se aplica una corriente constante, el voltaje aumenta constantemente hasta que se produce un fallo de los elementos de membrana. Este fallo se produce durante un periodo de tiempo conocido y, por consiguiente, la renovación del dispositivo se planifica de manera conservadora para permitir que los elementos de membrana compuesta sean reemplazados antes de cualquier posible fallo. Dicho esto, es altamente deseable permitir que el dispositivo de separación de oxígeno accionado eléctricamente funcione tanto tiempo como sea posible entre los intervalos de renovación debido a la interrupción del servicio que se produce necesariamente durante la renovación. Todavía otra manera conocida para controlar la energía eléctrica aplicada a las zonas de separación es midiendo la corriente y ajustando el voltaje, de manera que la energía disipada (producto del voltaje y la corriente) en la zona de separación se mantenga constante. Esto ayuda a controlar la temperatura del dispositivo de separación, ya que la potencia disipada resulta en el calentamiento del dispositivo de separación y, si esto se mantiene constante, entonces la temperatura del dispositivo de separación se mantiene constante. Sin embargo, este procedimiento tiene la desventaja de que conforme la resistencia aumenta con el tiempo, el flujo de corriente y de oxígeno disminuirá naturalmente.

Surge otro problema durante el encendido del dispositivo de separación. La temperatura de funcionamiento típica para los elementos usados en los elementos de membrana compuesta es de entre 600°C y 800°C. Se sabe que debe tenerse cuidado al encender el dispositivo de separación de oxígeno en el sentido de que los elementos de membrana generan también calor y si se aplicara la potencia total tanto a los elementos de membrana compuesta como al recinto calentado durante el encendido, podría producirse un sobrecalentamiento que conduciría a la degradación prematura, si no a un fallo, de los elementos de membrana compuesta.

Un procedimiento para controlar la aplicación de energía eléctrica a un dispositivo de separación de oxígeno accionado eléctricamente según el preámbulo de la reivindicación en la forma conocida a partir del documento U 6.290.757 B1. Tal como se describirá, entre otras características ventajosas, la presente invención proporciona un procedimiento y un aparato para controlar la aplicación de energía eléctrica dentro de un dispositivo de separación de oxígeno accionado eléctricamente que permite el funcionamiento del dispositivo de separación durante un período de tiempo más largo que la técnica anterior antes de que sea necesario el reemplazo de los elementos de membrana compuesta y que permite la supervisión del dispositivo de separación para determinar cuándo debe realizarse el reemplazo.

### Sumario de la invención

En un aspecto, la presente invención proporciona un procedimiento para controlar la aplicación de energía eléctrica en un dispositivo de separación de oxígeno accionado eléctricamente. Según el procedimiento, parte de la energía eléctrica es aplicada en al menos una zona de separación del dispositivo de separación de oxígeno accionado eléctricamente en la que se aplica una diferencia de potencial eléctrico a los electrodos anódicos y catódicos del al menos un elemento de membrana compuesta mientras se calienta el al menos un elemento de membrana compuesta a una temperatura de funcionamiento. Esto permite la separación del oxígeno de la corriente de alimentación que contiene oxígeno mediante la inducción del transporte de iones de oxígeno en un electrolito situado entre los electrodos anódicos y catódicos mediante la aplicación de la diferencia de potencial eléctrico.

El al menos un elemento de membrana compuesta tiene una resistencia que aumenta con el tiempo y durante el funcionamiento del al menos un elemento de membrana compuesta. La diferencia de potencial eléctrico aplicada al por lo menos un elemento de membrana compuesta es controlada de manera que una corriente eléctrica consumida por el al menos un elemento de membrana compuesta se mantiene en un nivel de corriente eléctrica predeterminado, sustancialmente constante, mediante el aumento de la diferencia de potencial eléctrico conforme aumenta la resistencia hasta que la diferencia de potencial eléctrico alcanza un nivel de voltaje predeterminado. Tras alcanzar el nivel de voltaje predeterminado, la diferencia de potencial eléctrico se mantiene a un nivel de voltaje constante. El nivel de voltaje constante se selecciona de manera de que sea menor que un nivel máximo de voltaje en el que el al menos un elemento de membrana compuesta fallará.

Tal como puede apreciarse, debido a que la presente invención contempla un funcionamiento en el que se mantiene un nivel de corriente constante durante un cierto periodo de tiempo y, a continuación, el nivel de diferencia de potencial se mantiene constante mientras el elemento de membrana compuesta producirá menos oxígeno conforme aumenta la resistencia durante el mantenimiento del voltaje constante, el dispositivo de separación de oxígeno accionado eléctricamente puede mantener un flujo constante de oxígeno y puede mantenerse en servicio durante un periodo de tiempo más largo que si la corriente se hubiera mantenido constante entre los intervalos de renovación. Aquí, cabe señalar que la expresión "elemento de membrana compuesta", tal

5 como se usa en la presente memoria y en las reivindicaciones, incluye un elemento que tiene cualquier forma, tal como se ha descrito anteriormente, y que tiene un electrolito conductor iónico situado entre los electrodos anódicos y catódicos y los colectores de corriente a los que se aplica la diferencia de potencial a los electrodos y, por tanto, el electrolito. El elemento de membrana compuesta podría tener múltiples elementos de membrana que están dispuestos eléctricamente en serie, en paralelo o en una combinación de ambos.

10 La diferencia de potencial eléctrico puede ser controlada midiendo la corriente eléctrica y aumentando o disminuyendo la diferencia de potencial eléctrico de manera que la corriente eléctrica permanece en el nivel de corriente eléctrica predeterminado, sustancialmente constante. Aunque la corriente eléctrica decaerá con el tiempo cuando la diferencia de potencial eléctrico se mantiene en un nivel constante, cuando la corriente eléctrica ha decaído a un nivel de corriente eléctrica bajo, predeterminado, la aplicación de la diferencia de potencial eléctrico cesa y se reemplaza el al menos un elemento de membrana compuesta.

15 La al menos una zona de separación puede comprender una pluralidad de zonas de separación. En este aspecto, tal como se usa en la presente memoria y en las reivindicaciones, el término "pluralidad" significa dos o más. El al menos un elemento de membrana compuesta de cada una de entre la pluralidad de zonas de separación está contenido en un recinto calentado eléctricamente del dispositivo de separación de oxígeno accionado eléctricamente para calentar el electrolito a la temperatura de funcionamiento a la cual el electrolito es capaz de transportar iones de oxígeno. Inicialmente, una parte adicional de la energía eléctrica es suministrada gradualmente al recinto calentado eléctricamente durante el encendido del dispositivo de separación de oxígeno accionado eléctricamente para obtener gradualmente la temperatura de funcionamiento dentro del recinto  
20 calentado eléctricamente antes de aplicar la diferencia de potencial eléctrico. Una vez obtenida la temperatura de funcionamiento durante el encendido del dispositivo de separación de oxígeno accionado eléctricamente, la diferencia de potencial eléctrico es aplicada de manera separada y gradual dentro de cada una de las zonas de separación hasta que la corriente eléctrica alcanza el nivel predeterminado de corriente eléctrica y según una planificación. Según la planificación, la diferencia de potencial eléctrico es aplicada sucesivamente dentro de la pluralidad de zonas de separación, de manera que el potencial eléctrico es aplicado dentro de una zona de separación sucesiva sólo después que la corriente consumida por el al menos un elemento de membrana compuesta localizado dentro de una zona de separación precedente ha alcanzado un porcentaje fijo del nivel de corriente eléctrica y en el que la parte adicional de la energía eléctrica suministrada al recinto calentado eléctricamente es suministrada sólo según sea necesario para mantener la temperatura de funcionamiento.

30 En otro aspecto, la presente invención proporciona un aparato para aplicar energía eléctrica en un dispositivo de separación de oxígeno accionado eléctricamente. Según dicho aspecto, se proporciona al menos una zona de separación que tiene una fuente de alimentación de CC para generar parte de la energía eléctrica y al menos un elemento de membrana compuesta alojado dentro de un recinto calentado eléctricamente del dispositivo de separación de oxígeno accionado eléctricamente y conectado a la fuente de alimentación de CC. Como resultado,  
35 se aplica una diferencia de potencial eléctrico a los electrodos anódicos y catódicos del al menos un elemento de membrana compuesta, separando de esta manera el oxígeno de la corriente de alimentación que contiene oxígeno mediante la inducción del transporte de iones de oxígeno en un electrolito situado entre los electrodos anódicos y catódicos mediante la aplicación de la diferencia de potencial eléctrico. Una fuente de alimentación de CA está conectada al recinto calentado eléctricamente para generar una parte adicional de la energía eléctrica y para suministrar la parte adicional de la energía eléctrica al recinto calentado eléctricamente para mantener el al menos un elemento de membrana compuesta a una temperatura de funcionamiento a la cual el electrolito es capaz de transportar iones de oxígeno. El al menos un elemento de membrana compuesta tiene una resistencia que aumenta con el tiempo y durante el funcionamiento del al menos un elemento de membrana compuesta. Se proporcionan unos medios para controlar la diferencia de potencial eléctrico aplicada al por lo menos un elemento  
40 de membrana compuesta de manera que el voltaje del potencial eléctrico aumenta para mantener una corriente eléctrica consumida por el al menos un elemento de membrana compuesta a un nivel de corriente eléctrica predeterminado, sustancialmente constante, conforme aumenta la resistencia hasta que la diferencia de potencial eléctrico alcanza un nivel predeterminado de voltaje y, posteriormente, para mantener la diferencia de potencial eléctrico a un nivel de voltaje constante cuando la diferencia de potencial eléctrico alcanza el nivel predeterminado de voltaje. El nivel de voltaje constante se selecciona de manera que sea menor que un nivel máximo de voltaje en el cual el al menos un elemento de membrana compuesta fallará.

55 Los medios de control del potencial eléctrico pueden comprender la zona de separación que tiene un sensor de corriente conectado entre la al menos una fuente de alimentación y el al menos un elemento de membrana de oxígeno accionado eléctricamente y configurados para generar una señal de corriente atribuible a una magnitud de la corriente eléctrica consumida por el al menos un elemento de membrana compuesta. Además, la fuente de alimentación de CC es sensible a una señal de control de voltaje y está configurada de manera que la diferencia de potencial eléctrico aplicada tiene una amplitud que varía en respuesta a la señal de control de voltaje. Un controlador programable es sensible a la señal de corriente y está programado para generar la señal de control de voltaje de manera que la corriente eléctrica consumida por el al menos un elemento de membrana compuesta se

mantiene al nivel de corriente eléctrica predeterminado, sustancialmente constante, conforme aumenta la resistencia y para mantener la diferencia de potencial eléctrico al voltaje constante después de que la diferencia de potencial eléctrico alcanza el nivel predeterminado de voltaje.

5 La corriente eléctrica decae con el tiempo cuando la diferencia de potencial eléctrico se mantiene al nivel constante y hay provistos unos medios para registrar y acceder a los datos atribuibles a la corriente eléctrica consumida por el al menos un elemento de membrana compuesta. Dichos medios están conectados al controlador de manera que cuando la corriente eléctrica ha decaído a un nivel bajo predeterminado de corriente eléctrica, se suministra una indicación para reemplazar el al menos un elemento de membrana compuesta.

10 La al menos una zona de separación puede comprender una pluralidad de zonas de separación. Hay provistos unos medios para controlar el suministro de la parte adicional de la energía eléctrica generada por la fuente de alimentación de CA. Dichos medios están conectados entre la fuente de alimentación de CA y el recinto calentado eléctricamente y son sensibles a una señal de control de temperatura. Un sensor de temperatura está contenido en el recinto calentado eléctricamente y está configurado para generar una señal de temperatura atribuible a la temperatura dentro del recinto calentado eléctricamente. El controlador programable está programado para generar la señal de control de voltaje para cada una de dichas fuentes de alimentación de CC en respuesta a la señal de corriente eléctrica de cada una de entre la pluralidad de zonas de separación y es sensible también a la señal de temperatura para generar la señal de control de temperatura de manera que se mantiene la temperatura de funcionamiento en el recinto calentado. El controlador programable está programado con una rutina de encendido que se ejecuta durante el encendido del dispositivo de separación de oxígeno accionado eléctricamente para generar la señal de control de temperatura y la señal de voltaje de manera que la parte adicional de la energía eléctrica generada por la fuente de alimentación de CA es aplicada gradualmente hasta que se obtiene la temperatura de funcionamiento dentro de cada una de entre la pluralidad de zonas de separación. La diferencia de potencial eléctrico es aplicada, de manera separada y gradual, al por lo menos un elemento de membrana compuesta en cada una de las zonas de separación, una vez obtenida la temperatura de funcionamiento, hasta que la corriente eléctrica consumida alcanza el nivel predeterminado de corriente eléctrica y según una planificación. En dicha planificación, la diferencia de potencial eléctrico es aplicada sucesivamente dentro de la pluralidad de zonas de separación de manera que el potencial eléctrico es aplicado dentro de una zona de separación sucesiva sólo después de que la corriente consumida por el al menos un elemento de membrana compuesta localizado dentro de una zona de separación precedente ha alcanzado un porcentaje fijo del nivel de corriente eléctrica y en el que la parte adicional de la energía eléctrica suministrada al recinto calentado eléctricamente es suministrada sólo según sea necesario para mantener la temperatura de funcionamiento.

### Breve descripción de los dibujos

35 Aunque la memoria descriptiva finaliza con reivindicaciones que señalan claramente el contenido que los solicitantes consideran como su invención, se entiende que la presente invención se comprenderá mejor cuando se considera en conexión con las figuras adjuntas, en las que:

La Fig. 1 es una ilustración esquemática de un aparato para llevar a cabo un procedimiento según la presente invención.

La Fig. 2 es una vista en sección transversal, fragmentada, ampliada, de la Fig. 1 que ilustra los detalles de un elemento de membrana compuesta usado en el aparato de la Fig. 1, y

40 La Fig. 3 es una representación gráfica del control de la diferencia de potencial eléctrico y la corriente aplicada a un elemento de membrana compuesta de una generación de oxígeno accionada eléctricamente según la presente invención.

### Descripción detallada

45 Con referencia a la Figura 1, se ilustra un dispositivo 1 de separación de oxígeno accionado eléctricamente que incorpora una fuente de alimentación eléctrica según la presente invención. El dispositivo 1 de separación de oxígeno accionado eléctricamente se ilustra con un primer elemento 10 de membrana compuesta y un segundo elemento 12 de membrana compuesta alojados dentro de un recinto 18 calentado eléctricamente.

50 El suministro de energía eléctrica al dispositivo 1 de separación de oxígeno accionado eléctricamente se ilustra como incorporando dos zonas de separación. Una de las dos zonas de separación consiste en una fuente de alimentación 32 de CC, el primer elemento 10 de membrana compuesta, un sensor 46 de corriente eléctrica y la otra de entre las dos zonas de separación consiste en una fuente de alimentación 34 de CC, el segundo elemento 12 de membrana compuesta y un segundo sensor 48 de corriente. El sensor 46 y 48 de corriente puede ser una resistencia de detección de corriente o cualquier otro dispositivo de medición de corriente. Además, el dispositivo de medición de corriente podría estar integrado en la fuente de alimentación. Además, tal como se describirá,

- asociados con cada una de las zonas hay circuitos eléctricos necesarios para conectar dichos componentes. Sin embargo, se entiende que la descripción de las dos zonas de separación es sólo con propósitos ilustrativos y la presente invención contempla, tal como se reivindica en la presente memoria, sólo una única zona de separación o una pluralidad de zonas de separación, en la que cada una tiene su propia fuente de alimentación de CC, un elemento de membrana compuesta, un sensor de corriente y un circuito eléctrico. Aunque sólo se ilustra un único elemento de membrana compuesta en cada zona, se entiende además que cada zona podría incorporar múltiples elementos de membrana compuesta en cualquier disposición. El elemento de membrana compuesta podría tener múltiples elementos de membrana que están dispuestos eléctricamente en serie, en paralelo o en una combinación de ambos.
- 5
- 10 No hay una forma particular de los elementos 10 y 12 de membrana compuesta, primero y segundo, que sea preferible. Tal como se ha provisto en la técnica anterior, dichos elementos pueden ser en forma de una colección de placas o un elemento de cerámica moldeado que tiene elementos similares a dedos conformados integralmente, que sobresalen desde un elemento similar a una base. La totalidad de dichos elementos tienen electrodos catódicos y anódicos y un electrolito, tal como se ha descrito anteriormente, localizado entre los
- 15 electrodos para separar oxígeno de una alimentación que contiene oxígeno, por ejemplo aire, mediante la aplicación de una diferencia de potencial eléctrico en una manera que se describirá más adelante.
- Con propósitos de ilustración y con referencia a la Figura 2, el primer elemento 10 de membrana compuesta es una estructura de capas compuestas que tiene una capa 13 catódica exterior con la que está en contacto la alimentación que contiene oxígeno, una capa 14 anódica interior en cuyo interior se recolecta el oxígeno separado
- 20 y una capa 15 electrolítica entre las capas 13 y 14 catódicas y anódicas a través de las cuales se produce el transporte de iones de oxígeno. Hay provistas dos capas 16 y 17 colectoras de corriente que cubren las capas 13 y 14 catódicas y anódicas para la aplicación de la diferencia de potencial eléctrico en las capas 13 y 14 catódicas y anódicas. El primer elemento de membrana compuesta tiene la forma de un tubo y aunque no se ilustra, dicho tubo tendría al menos en un extremo una salida para descargar el oxígeno y una alimentación eléctrica a través del mismo para permitir un contacto eléctrico con el colector 17 de corriente y, por lo tanto, con la capa 14 anódica. Todas las capas 16 y 17 colectoras de corriente y las capas 13 y 14 catódicas y anódicas son porosas para permitir que el oxígeno entre en contacto con la capa 15 electrolítica y para permitir que el oxígeno se difunda desde la capa 15 electrolítica hacia el interior del primer elemento 10 de membrana compuesta. La capa 15 electrolítica no está diseñada para ser porosa, en el sentido de que su propósito es conducir iones de oxígeno por
- 25 medio del transporte de iones de oxígeno. Aunque para el propósito de la presente invención no hay materiales particulares preferidos para conformar dichas capas, la misma puede utilizar los mismos materiales y de la misma manera que se ilustra en la solicitud de patente US N° 2010/116133, descrita anteriormente. Podrían usarse conjuntos adicionales de elementos de membrana compuesta distribuidos en forma tubular en las zonas de separación descritas anteriormente según dicha solicitud de patente.
- 30
- 35 En la realización ilustrada, se proporciona un recinto 18 calentado eléctricamente que tiene una entrada 19 para la introducción de una corriente 20 de alimentación que contiene oxígeno y una salida 21 para la descarga de una corriente 22 empobrecida en oxígeno, retenida, que es formada mediante la separación del oxígeno contenido dentro de la corriente 20 de alimentación que contiene oxígeno por los elementos 10 y 12 de membrana compuesta, primero y segundo. Aunque no se ilustra, podría proporcionarse un soplador o un ventilador para conducir el flujo de la corriente 20 de alimentación que contiene oxígeno a la entrada 19 y al interior del recinto 18 calentado eléctricamente. En la realización ilustrada, debido a que hay dos de dichos elementos, se proporciona un distribuidor 24 para recolectar la separación de oxígeno a partir de la corriente de alimentación que contiene oxígeno que penetra en el recinto 18 calentado eléctricamente para la descarga de una corriente 26 de producto de oxígeno.
- 40
- 45 El recinto 18 calentado eléctricamente está provisto de una capa 28 de aislamiento que tiene incorporados unos elementos 30 calentadores para calentar los elementos 10 y 12 de membrana compuesta, primero y segundo, a una temperatura de funcionamiento a la que el electrolito contenido en la capa 15 electrolítica empleada en dichos elementos es capaz de transportar los iones de oxígeno cuando se aplica una diferencia de potencial eléctrico a los elementos 10 y 12 de membrana compuesta, primero y segundo. Según la presente invención, dicha diferencia de potencial es aplicada individualmente a los elementos por medio de las fuentes de alimentación 32 y 34 de CC, primera y segunda, cada una de las cuales está conectada a los elementos 10 y 12 de membrana compuesta, primero y segundo, por medio de circuitos eléctricos. La membrana 10 y 12 compuesta podría tener múltiples elementos de membrana que están conectados en serie, en paralelo o en una combinación de ambos. En la configuración preferida, hay dos conjuntos de elementos de membrana en una membrana 10 y 12 compuesta, en
- 50
- 55 la que las membranas individuales están conectadas en serie en cada conjunto. Estos dos conjuntos están conectados además en una conexión en paralelo con una fuente de alimentación. El circuito eléctrico usado en relación con el primer elemento 10 de membrana compuesta incluye conductores 36 y 38 y el circuito eléctrico usado en relación con el segundo elemento 12 de membrana compuesta usa los conductores 40 y 42. Tal como puede apreciarse, si hubiese más de dichos elementos de membrana compuesta, cada uno podría ser alimentado

5 por separado o grupos de dichos elementos podrían tener fuentes de alimentación de CC separadas. La aplicación de corriente directa mediante las fuentes de alimentación 32 y 34 de CC a los electrodos catódicos y anódicos de los elementos 10 y 12 de membrana compuesta, primero y segundo, cuando se calientan a la temperatura de funcionamiento, típicamente entre 600°C y 800°C por medio de los elementos 30 calentadores, causa la ionización del oxígeno contenido dentro de la corriente 20 de alimentación que contiene oxígeno cuando entra en contacto con los electrodos catódicos, el transporte iónico a través de los electrolitos empleados en dichos elementos y la producción de oxígeno, O<sub>2</sub>, en los electrodos anódicos. Tal como saben las personas con conocimientos en la materia, el voltaje aplicado suministra electrones para ionizar el oxígeno en el electrodo catódico y los electrones son desprendidos por los iones de oxígeno en el ánodo al recombinarse los iones de oxígeno en oxígeno molecular.

10 Tal como se ha indicado anteriormente, durante el funcionamiento de los elementos 10 y 12 de membrana compuesta, por las razones indicadas anteriormente, el rendimiento de dichos elementos tenderá a deteriorarse, concretamente, para reducir la producción de oxígeno. Durante dicho deterioro, aumentará la resistencia de los elementos. Si se aplicara un voltaje constante, de manera continua, durante la vida de los elementos 10 y 12 de membrana compuesta, entonces la corriente consumida por los elementos 10 y 12 de membrana compuesta se reduciría o decaería con el aumento de la resistencia, tal como lo haría la salida de oxígeno debido a que la producción de oxígeno es una función directa de la corriente eléctrica consumida por los elementos. Aquí, es apropiado destacar que dicho decaimiento de la corriente no es una función lineal en el sentido de que inicialmente, la corriente eléctrica consumida por los elementos 10 y 12 de membrana compuesta tenderá, en un primer momento, a aumentar conforme los elementos "envejecen". Sin embargo, cuando se observa durante un largo periodo de tiempo de funcionamiento, de hecho se producirá dicho decaimiento de corriente debido a los factores indicados anteriormente. En este sentido, la invención, tal como se expone en las reivindicaciones adjuntas, no pretende excluir dicho aumento de corriente inicial. En cualquier caso, si se permite que continúe dicha operación, entonces eventualmente el voltaje aplicado aumentará hasta que se produzca un fallo de los elementos debido al calentamiento interno.

25 Con referencia a la Figura 3, según la presente invención, se permite que la diferencia de potencial aplicada a cada uno de los elementos de separación de oxígeno, durante un tiempo inicial de funcionamiento, aumente o disminuya (especialmente durante el periodo de envejecimiento) para mantener la corriente consumida por los elementos 10 y 12 de membrana compuesta en un nivel constante. Cuando se aplica un voltaje predeterminado máximo, el voltaje se mantiene en un nivel constante. Cuando el voltaje está fijado de esta manera, la resistencia de los elementos 10 y 12 de membrana compuesta continuará aumentando y la corriente eléctrica decaerá. Sin embargo, durante dicho periodo de decaimiento, seguirá produciéndose oxígeno y, de esta manera, el dispositivo 1 de separación de oxígeno, accionado eléctricamente, podrá continuar en servicio durante un periodo de tiempo más largo que la técnica anterior sin mantenimiento. Se llegará a un punto en el que los elementos 10 y 12 de membrana compuesta tendrán que ser renovados; por ejemplo, reemplazados. Este punto de renovación puede ser seleccionado cuando el decaimiento de la corriente alcanza un porcentaje, por ejemplo, el 25 por ciento del nivel de corriente de funcionamiento predeterminado que se mantiene cuando la corriente se mantiene en un nivel constante aumentando el voltaje.

30 Lo indicado anteriormente se consigue en la presente invención por medio de un controlador 44 programable que, en una faceta, está programado de una manera conocida para realizar la operación anterior. Las entradas al controlador 44 son señales de corriente analógicas detectadas por los sensores 46 y 48 de corriente asociados con los circuitos eléctricos descritos anteriormente que alimentan a los elementos 10 y 12 de membrana compuesta, primero y segundo. Los sensores de corriente pueden ser resistencias de detección de corriente o cualquier otro sensor de corriente disponible comercialmente. De manera alternativa, dichos dispositivos de medición de corriente pueden estar integrados en la fuente de alimentación. Las señales son transmitidas al controlador 44 por medio de unas conexiones 50 y 52 eléctricas, respectivamente. La corriente detectada es procesada por el controlador 44 para producir señales de voltaje que son suministradas a las fuentes de alimentación 32 y 34 de CC por medio de las conexiones 54 y 56 eléctricas. El controlador 44 está diseñado para generar las señales de voltaje de manera que cada una tenga una amplitud que es una función de los niveles de corriente eléctrica consumida por los elementos 10 y 12 de membrana compuesta, primero y segundo. El voltaje que es aplicado, a su vez, por las fuentes de alimentación 32 y 34 de CC es una función de dichas señales de voltaje. Aunque son posibles técnicas de programación lineal, en la práctica, el controlador 44 está programado como un controlador diferencial integral proporcional o un controlador "PID" que tiene constantes de ajuste que se determinan experimentalmente en una manera conocida en la técnica para producir una respuesta deseada y una estabilidad de control para mantener constante la corriente eléctrica consumida por los elementos 10 y 12 de membrana compuesta, primero y segundo. Cuando las señales de voltaje llegan a un nivel predeterminado, el controlador 44 está programado también para no actualizar adicionalmente las señales de voltaje a través del control PID y para que todas las señales de voltaje permanezcan a un nivel constante de manera que las fuentes de alimentación 32 y 34 de CC apliquen un voltaje constante a los elementos 10 y 12 de membrana compuesta, primero y segundo. Como un

ejemplo, las fuentes de alimentación 32 y 34 de CC pueden ser unidades que pueden ser del tipo PBA300F-24 suministradas por COSEL CO. LTD., de 1-6-43 Kamiakae-machi, Toyama 930-0816, Japón. Dichas unidades tienen una señal de voltaje de entrada que puede variar entre 0 voltios y 2,5 voltios. El voltaje de salida variará, al igual que la señal de voltaje de entrada, entre 0 y 24 voltios. Suponiendo que el nivel de corriente eléctrica predeterminado deseado a ser consumido por los elementos 10 y 12 de membrana compuesta, primero y segundo, es de 11,2 amperios, se permite que la señal de voltaje se eleve a un nivel máximo predeterminado de 1,875 voltios que hará que las fuentes de alimentación 32 y 34 de CC suministren 18,5 voltios a los elementos 10 y 12 de membrana compuesta, primero y segundo. El controlador 44 está programado de manera que, en dicho punto, la señal de voltaje no se actualizará y la señal de voltaje se mantendrá en 1,875 voltios y, tal como se muestra en la Figura 3, la corriente eléctrica consumida por los elementos de separación de oxígeno, primero y segundo, decaerá al igual que la salida de oxígeno. El nivel de voltaje máximo se selecciona para prevenir daños y fallos en los elementos 10 y 12 de membrana compuesta.

Tal como pueden apreciar las personas con conocimientos en la materia, las fuentes de alimentación de CC, de corriente constante, son bien conocidas. Por consiguiente, dicha una fuente de alimentación podría ser usada si estuviese diseñada para tener una salida de voltaje máximo inferior a un nivel que causaría un fallo de los elementos de membrana compuesta. Sin embargo, el diseño y la construcción de dicho un dispositivo no serían preferibles, debido a que la presente invención, en este aspecto, permite el uso de equipos comerciales.

Tal como se ha indicado anteriormente, cuando se produce un nivel predeterminado de decaimiento de corriente, se reemplazarán los elementos 10 y 12 de membrana compuesta, primero y segundo. Una indicación de esto puede obtenerse a partir de un registrador 58 de datos conectado al controlador 44, que puede ser una memoria estática de acceso aleatorio, una memoria flash o una EEPROM (Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory, memoria de sólo lectura programable y borrable eléctricamente) que registrará dichos datos como los atribuibles a la corriente eléctrica detectada por los sensores 46 y 48 de corriente y las señales de voltaje generadas por el controlador 44. Estos datos pueden ser accedidos de manera remota, por ejemplo mediante un módem y líneas telefónicas, para permitir que se realice una determinación con respecto a cuándo deben reemplazarse los elementos 10 y 12 de membrana compuesta, primero y segundo. Bajo ciertas circunstancias, cuando las líneas telefónicas no están accesibles, los datos almacenados podrían ser recolectados usando un PC y conectándolo al controlador 44 usando conectores de puerto serie. Tal como puede apreciarse, podrían usarse otros medios, por ejemplo, una indicación de alarma visual mediante una lámpara LED cuando la corriente eléctrica ha decaído al nivel predeterminado de baja corriente. Tal como puede apreciarse también, en lugar de cualquier indicación, el controlador 44 y las fuentes de alimentación 32 y 34 de CC podrían funcionar sin ninguna indicación externa del nivel predeterminado de baja corriente. En dicho caso, el tiempo de funcionamiento de los elementos 10 y 12 de membrana compuesta, primero y segundo, podría ser registrado y visualizado externamente y la renovación de los mismos tendría lugar cuando ha transcurrido un tiempo de funcionamiento predeterminado, por ejemplo 7.700 horas de funcionamiento, tal como se muestra en la Figura 2.

Tanto las fuentes de alimentación 32 y 34 de CC como los elementos 30 calentadores del recinto 18 calentado eléctricamente son alimentados por una fuente de alimentación 60 de CA que puede ser la corriente de red. La fuente de alimentación 60 de CA está conectada a las fuentes de alimentación 32 y 34 de CC por unos cables de alimentación 62 y 64. A fin de mantener los elementos 10 y 12 de membrana compuesta, primero y segundo, a su temperatura de funcionamiento, hay provisto un sensor 66 de temperatura en el recinto 18 calentado eléctricamente para detectar la temperatura ambiental dentro de dicho recinto. El sensor 66 de temperatura puede ser un termopar de tipo k que genera una señal de temperatura analógica que es suministrada como otra entrada al controlador 44 mediante una conexión 68 eléctrica. En otra faceta de la programación incorporada en el controlador 44, el controlador 44 puede estar programado para generar una señal de control de temperatura que es sensible a la señal de temperatura y es suministrada a un rectificador 70 controlado basado en silicio por medio de una conexión 72 eléctrica. La fuente de alimentación 60 de CA está conectada al rectificador 70 controlado, basado en silicio, por medio de un cable 74 de alimentación y el rectificador 70 controlado, basado en silicio, está a su vez conectado a los elementos 30 calentadores eléctricos por medio de conductores 76 y 78 eléctricos. Cuando el controlador 44 genera la señal de control de temperatura, el rectificador 70 controlado, basado en silicio, actúa como un interruptor que conecta la fuente de alimentación 60 de CA a los elementos 30 calentadores y el calor es suministrado al interior del recinto 18 calentado eléctricamente. Pueden usarse otros medios conocidos en lugar del rectificador 70 controlado, basado en silicio, tales como unos relés de estado sólido (SSR, Solid State Relays) o unos controladores de calentamiento programables que pueden obtenerse fácilmente de entre una diversidad de fabricantes.

Durante el funcionamiento en estado estacionario, el controlador 44 está programado para suministrar la señal de temperatura cuando la temperatura detectada por el sensor 66 de temperatura es inferior a la temperatura de funcionamiento y para no suministrar dicha una señal cuando la temperatura detectada por el sensor de temperatura es superior a la temperatura de funcionamiento. Una vez más, la lógica de programación usada para dicho control es un control proporcional integral diferencial, aunque, una vez más, es posible una programación

lineal.

5 En otra faceta de su programación, el programa incorporado en el controlador 44 puede ser diseñado también en una manera conocida en la técnica para incorporar una rutina de encendido para controlar el funcionamiento de los elementos 10 y 12 de membrana compuesta y el recinto 18 calentado eléctricamente durante las operaciones de encendido. Como una etapa inicial en la rutina del programa, el controlador 44 está programado de manera que no se aplica ningún voltaje a los elementos 10 y 12 de membrana compuesta, primero y segundo, y por lo tanto la señal de voltaje es 0 mientras la señal de temperatura es generada de manera intermitente hasta que se obtiene el nivel de temperatura de funcionamiento dentro del recinto 18 calentado. Por ejemplo, usando el control PID, el controlador 44 puede ejecutarse cada minuto con un punto de ajuste flotante que aumenta en 5°C después de cada ejecución, hasta que se obtiene una temperatura de funcionamiento de, por ejemplo, 675°C. Esto proporcionaría una rampa de temperatura creciente de 5°C por minuto y, partiendo de condiciones de temperatura ambiente, requeriría aproximadamente dos horas. Este funcionamiento asegura el calentamiento gradual de los elementos 10 y 12 de membrana compuesta, primero y segundo, para prevenir daños a los mismos. Como es conocido, los elementos 10 y 12 de membrana compuesta, primero y segundo, se auto-calentarán también según una función de la corriente eléctrica consumida multiplicada por la resistencia. Una vez más, para prevenir daños, una vez obtenida la temperatura de funcionamiento durante la operación de encendido, el controlador 44 está programado para generar la señal de voltaje a niveles gradualmente crecientes, por ejemplo, para proporcionar un aumento de corriente de 0,05 amperios/segundo de manera que el voltaje que se aplica a los elementos 10 y 12 de membrana compuesta, primero y segundo, aumentará gradualmente y el auto-calentamiento de dichos elementos no sobrecalentará los elementos cuando se considera en conexión con el calor suministrado por los elementos 30 calentadores. El controlador 44 está programado también de manera que se suministra energía, en primer lugar, al primer elemento 10 de membrana compuesta antes que el segundo elemento 12 de membrana compuesta. Cuando la corriente aplicada al primer elemento 10 de membrana compuesta alcanza un nivel predeterminado, por ejemplo, el 75 por ciento del diseño, la diferencia de potencial es aplicada gradualmente al segundo elemento 12 de membrana compuesta. Como pueden apreciar las personas con conocimientos en la materia, si se usan vanos de dichos elementos, podría suministrarse energía a los mismos siguiendo una planificación secuencial tal como se ha descrito con referencia a los elementos 10 y 12 de membrana compuesta, primero y segundo, o secuencialmente en grupos de dichos elementos.

30 Como puede apreciarse, la presente invención contempla también un control menos sofisticado o ningún control en absoluto. Por ejemplo, el controlador 44 lógico programable podría ser programado sin la rutina de encendido y sin un control de temperatura del recinto 18 calentado eléctricamente. En tal caso, el recinto 18 es calentado usando la fuente de alimentación 60 de CA junto con un controlador de calentamiento programable separado, disponible comercialmente, por ejemplo, Watlow. El recinto 18 aislado y los elementos de membrana compuesta usados deberían coincidir estrechamente para prevenir un sobrecalentamiento.

35

## REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento para controlar la aplicación de energía eléctrica en un dispositivo (1) de separación de oxígeno, accionado eléctricamente, en el que dicho procedimiento comprende:

5 aplicar parte de la energía eléctrica en al menos una zona de separación del dispositivo de separación de oxígeno, accionado eléctricamente, que tiene al menos un elemento (10, 12) de membrana compuesta mediante la aplicación de una diferencia de potencial eléctrico a unos electrodos (14) anódicos y (13) catódicos del por lo menos un elemento (10, 12) de membrana compuesta mientras se calienta el al menos un elemento (10, 12) de membrana compuesta a una temperatura de funcionamiento, para separar de esta manera el oxígeno de la corriente (20) de alimentación que contiene oxígeno mediante la inducción del transporte de iones de oxígeno en un electrolito (15) situado entre los electrodos anódicos (14) y catódicos mediante la aplicación de la diferencia de potencial eléctrico,

10 en el que el al menos un elemento (10, 12) de membrana compuesta tiene una resistencia que aumenta con el tiempo y durante el funcionamiento del al menos un elemento de membrana compuesta,

caracterizado por que el procedimiento comprende además:

15 controlar la diferencia de potencial eléctrico aplicada al por lo menos un elemento (10,12) de membrana compuesta de manera que una corriente eléctrica consumida por el al menos un elemento (10, 12) de membrana compuesta permanece en un nivel de corriente eléctrica predeterminado, sustancialmente constante, mediante el aumento de la diferencia de potencial eléctrico conforme aumenta la resistencia hasta que la diferencia de potencial eléctrico alcanza un nivel de voltaje predeterminado y, posteriormente, manteniendo la diferencia de potencial eléctrico en un nivel de voltaje constante cuando la diferencia de potencial eléctrico alcanza el nivel de voltaje predeterminado, en el que el nivel de voltaje constante es inferior a un nivel de voltaje máximo al cual el al menos un elemento (10, 12) de membrana compuesta fallará.

2. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que la diferencia de potencial eléctrico es controlada midiendo la corriente eléctrica y aumentando la diferencia de potencial eléctrico de manera que la corriente eléctrica permanece en el nivel de corriente eléctrica predeterminado, sustancialmente constante.

3. Procedimiento según la reivindicación 2, en el que:

la corriente eléctrica decae con el tiempo cuando la diferencia de potencial eléctrico se mantiene en el nivel constante; y

30 cuando la corriente eléctrica ha decaído a un nivel predeterminado bajo de corriente eléctrica, la aplicación de la diferencia de potencial eléctrico cesa y el al menos un elemento (10, 12) de membrana compuesta es reemplazado.

4. Procedimiento según la reivindicación 1 o la reivindicación 3, en el que:

la al menos una zona de separación comprende una pluralidad de zonas de separación;

35 el al menos un elemento (10, 12) de membrana compuesta de cada una de entre la pluralidad de zonas de separación está contenido en un recinto (18) calentado eléctricamente del dispositivo (1) de separación de oxígeno, accionado eléctricamente, para calentar el electrolito (15) a la temperatura de funcionamiento a la que el electrolito (15) será capaz de transportar iones de oxígeno;

40 inicialmente, se suministra gradualmente una parte adicional de la energía eléctrica al recinto (18) calentado eléctricamente durante el encendido del dispositivo (1) de separación de oxígeno, accionado eléctricamente, para obtener gradualmente la temperatura de funcionamiento en el interior del recinto (18) calentado eléctricamente antes de aplicar la diferencia de potencial eléctrico; y

45 una vez obtenida la temperatura de funcionamiento, durante el encendido del dispositivo (1) de separación de oxígeno, accionado eléctricamente, la diferencia de potencial eléctrico es aplicada, de manera separada y gradual, dentro de cada una de las zonas de separación hasta que la corriente eléctrica alcanza el nivel predeterminado de corriente eléctrica y según una planificación en la que la diferencia de potencial eléctrico es aplicada sucesivamente dentro de la pluralidad de zonas de separación de manera que el potencial eléctrico es aplicado dentro de una zona de separación sucesiva sólo después de que la corriente consumida por el al menos un elemento (10, 12) de membrana compuesta localizado dentro de una zona de separación precedente ha alcanzado un porcentaje fijo del nivel de corriente eléctrica y en el que la parte adicional de la energía eléctrica suministrada al recinto (18) calentado eléctricamente es suministrada sólo según sea necesario para mantener la temperatura de funcionamiento.

50

5. Un aparato para aplicar energía eléctrica en un dispositivo (1) de separación de oxígeno, accionado eléctricamente, en el que dicho aparato comprende:

5 al menos una zona de separación que tiene una fuente de alimentación (32, 34) de CC para generar parte de la energía eléctrica y al menos un elemento (10, 12) de membrana compuesta alojado dentro de un recinto (18) calentado eléctricamente del dispositivo (1) de separación de oxígeno, accionado eléctricamente, y conectado a la fuente de alimentación de CC de manera que una diferencia de potencial eléctrico es aplicada a los electrodos anódicos (14) y catódicos (13) del al menos un elemento (10, 12) de membrana compuesta, para separar de esta manera el oxígeno de la corriente (20) de alimentación que contiene oxígeno mediante la inducción del transporte de iones de oxígeno en un electrolito (15) situado entre los electrodos anódicos (14) y catódicos (13) mediante la aplicación de la diferencia de potencial eléctrico;

10 una fuente de alimentación (60) de CA conectada al recinto (18) calentado eléctricamente para generar una parte adicional de la energía eléctrica y suministrar la parte adicional de la energía eléctrica al recinto (18) calentado eléctricamente para mantener el al menos un elemento (10, 12) de membrana compuesta a una temperatura de funcionamiento a la cual el electrolito (15) es capaz de transportar iones de oxígeno;

15 en el que el al menos un elemento (10, 12) de membrana compuesta tiene una resistencia que aumenta con el tiempo y durante el funcionamiento del al menos un elemento de membrana compuesta;

caracterizado por que el aparato comprende además:

20 medios para controlar la diferencia de potencial eléctrico aplicada al por lo menos un elemento (10, 12) de membrana compuesta de manera que el voltaje del potencial eléctrico aumenta para mantener una corriente eléctrica consumida por el al menos un elemento de membrana compuesta a un nivel de corriente eléctrica predeterminado, sustancialmente constante, conforme aumenta la resistencia hasta que la diferencia de potencial eléctrico alcanza un nivel de voltaje predeterminado y, posteriormente, para mantener la diferencia de potencial eléctrico en un nivel de voltaje constante cuando la diferencia de potencial eléctrico alcanza el nivel de voltaje predeterminado, en el que el nivel de voltaje constante es inferior a un nivel de voltaje máximo al cual el al menos un elemento (10, 12) de membrana compuesta fallará.

6. Aparato según la reivindicación 5, en el que los medios de control del potencial eléctrico comprenden:

30 la zona de separación que tiene un sensor (46, 48) de corriente conectado entre la al menos una fuente de alimentación (32, 34) y el al menos un elemento (10, 12) de membrana de oxígeno, accionado eléctricamente, y configurado para generar una señal de corriente atribuible a una magnitud de la corriente eléctrica consumida por el al menos un elemento (10, 12) de membrana compuesta;

la fuente de alimentación (32, 34) de CC que es sensible a una señal de control de voltaje de entrada y está configurada de manera que la diferencia de potencial eléctrico aplicada tiene una amplitud que varía en respuesta a la señal de control de voltaje de entrada; y

35 un controlador (44) programable que es sensible a la señal de corriente y está programado para generar la señal de control de voltaje de manera que la corriente eléctrica consumida por el al menos un elemento (10, 12) de membrana compuesta es mantenida en el nivel de corriente eléctrica predeterminado, sustancialmente constante, conforme aumenta la resistencia y para mantener la diferencia de potencial eléctrico en el voltaje constante después que la diferencia de potencial eléctrico alcanza el nivel de voltaje predeterminado.

7. Aparato según la reivindicación 6, en el que:

40 la corriente eléctrica decae con el tiempo cuando la diferencia de potencial eléctrico se mantiene en el nivel constante; y

45 unos medios (58) para registrar y acceder a los datos atribuibles a la corriente eléctrica consumida por el al menos un elemento (10, 12) de membrana compuesta están conectados al controlador (44) de manera que cuando la corriente eléctrica ha decaído a un nivel predeterminado bajo de corriente eléctrica se suministra una indicación para reemplazar el al menos un elemento (10, 12) de membrana compuesta.

8. Aparato según la reivindicación 6 o la reivindicación 7, en el que:

la al menos una zona de separación comprende una pluralidad de zonas de separación;

50 los medios para controlar el suministro de la parte adicional de la energía eléctrica generada por la fuente de alimentación (60) de CA están conectados entre la fuente de alimentación (60) de CA y el recinto (18) calentado eléctricamente y son sensibles a una señal de control de temperatura;

un sensor (66) de temperatura está contenido en el recinto (18) calentado eléctricamente y está configurado para generar una señal de temperatura atribuible a la temperatura dentro del recinto (18) calentado eléctricamente;

5 el controlador (44) programable está programado para generar la señal de control de voltaje para cada una de dichas fuentes de alimentación (32, 34) de CC en respuesta a la señal de corriente eléctrica de cada una de entre la pluralidad de zonas de separación y es sensible también a la señal de temperatura para generar la señal de control de temperatura de manera que la temperatura de funcionamiento se mantiene en el recinto (18) calentado; y

10 el controlador (44) programable está programado con una rutina de encendido que se ejecuta durante el encendido del dispositivo (10) de separación de oxígeno, accionado eléctricamente, para generar la señal de control de temperatura y la señal de voltaje de manera que la parte adicional de la energía eléctrica generada por la fuente de alimentación (60) de CA es aplicada gradualmente hasta que se obtiene la temperatura de funcionamiento dentro de cada una de entre la pluralidad de zonas de separación, en el que la diferencia de potencial eléctrico es aplicada, de manera separada y gradual, al por lo menos un elemento (10, 12) de membrana compuesta en cada una de las zonas de separación, una vez obtenida la temperatura de funcionamiento, hasta que la corriente eléctrica consumida alcanza el nivel predeterminado de corriente eléctrica y según una planificación en la que la diferencia de potencial eléctrico es aplicada sucesivamente dentro de las zonas de separación de manera que el potencial eléctrico es aplicado dentro de una zona de separación sucesiva sólo después que la corriente consumida por el al menos un elemento (10, 12) de membrana localizado dentro de una zona de separación precedente ha alcanzado un porcentaje fijo del nivel de corriente eléctrica y en el que la parte adicional de la energía eléctrica suministrada al recinto (18) calentado eléctricamente es suministrada sólo según sea necesario para mantener la temperatura de funcionamiento.

15

20

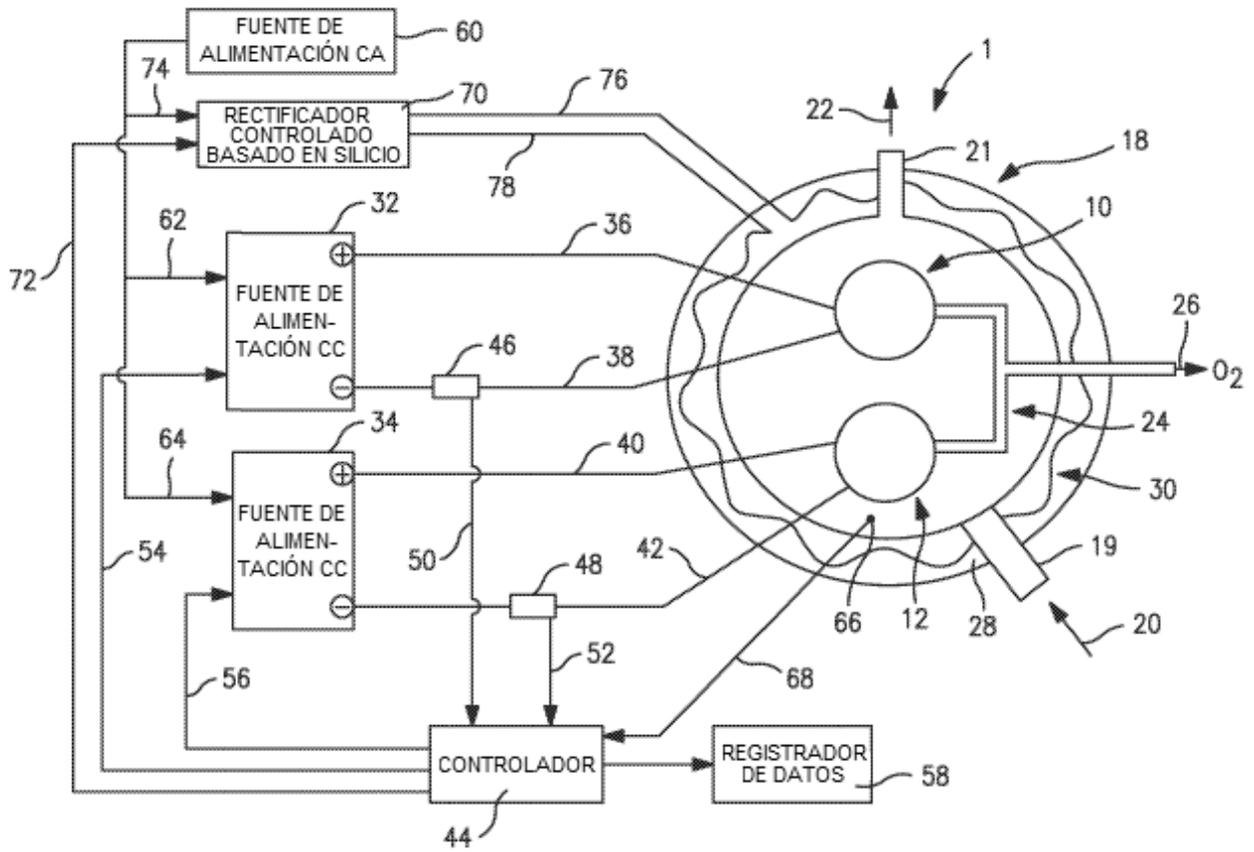
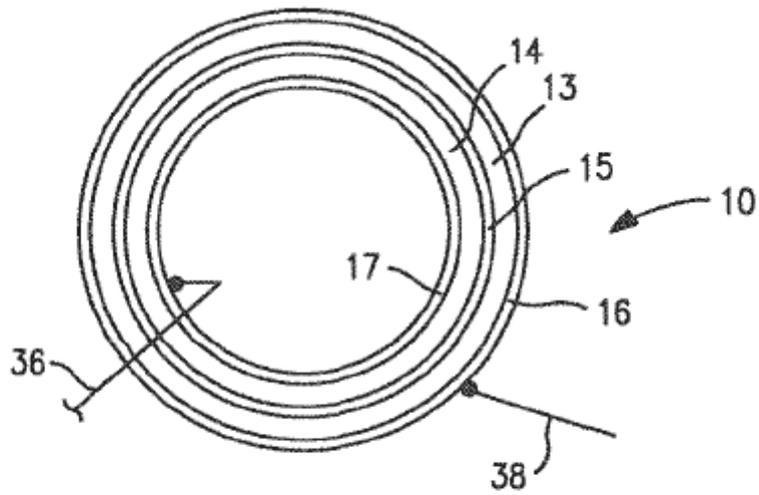
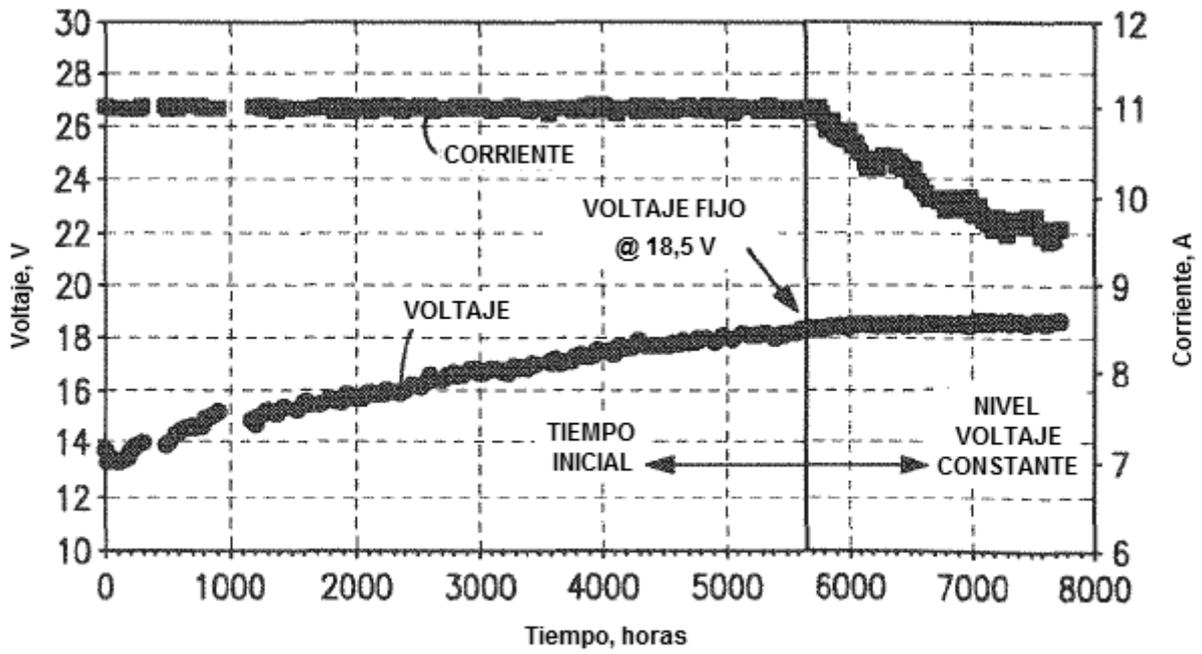


FIG. 1



**FIG. 2**



**FIG. 3**