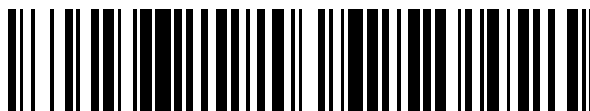


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 718 734**

51 Int. Cl.:

C25B 1/02 (2006.01)

B01D 53/047 (2006.01)

B01D 53/26 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **28.08.2015 PCT/US2015/047409**

87 Fecha y número de publicación internacional: **03.03.2016 WO16033447**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **28.08.2015 E 15760594 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **30.01.2019 EP 3185987**

54 Título: **Método de secado de una mezcla de gas hidrógeno producida por un compresor electroquímico de hidrógeno**

30 Prioridad:

29.08.2014 US 201462043692 P

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

04.07.2019

73 Titular/es:

**NUVERA FUEL CELLS, LLC (100.0%)
129 Concord Road, Building 1
Billerica MA 01821, US**

72 Inventor/es:

**LI, ZHIJIANG;
VANZANDT, KYLE y
BLANCHET, SCOTT**

74 Agente/Representante:

SÁEZ MAESO, Ana

ES 2 718 734 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 de secado de una mezcla de gas hidrógeno producida por un compresor electroquímico de hidrógeno.

Las realizaciones de la presente divulgación se refieren a un método para secar una corriente de hidrógeno húmedo de un compresor de hidrógeno electroquímico (EHC).

- 5 Un EHC, por ejemplo, puede transferir selectivamente iones de hidrógeno a través de una membrana dentro de una celda electroquímica. Un EHC puede incluir una membrana de intercambio de protones posicionada entre dos electrodos, es decir, un ánodo y un cátodo. El gas hidrógeno en contacto con el ánodo puede oxidarse aplicando un potencial de voltaje a través de los electrodos. La oxidación de una molécula de hidrógeno produce dos electrones y dos protones. Los dos protones son conducidos electroquímicamente a través de la membrana al cátodo, en donde los protones se unen a los dos electrones redirigidos y se reducen a una molécula de hidrógeno. La transferencia de carga o corriente dentro de la celda se conoce comúnmente como la corriente de pila. Las reacciones que tienen lugar en los electrodos se pueden expresar como semirreacciones de oxidación-reducción, como se muestra a continuación.

Reacción de oxidación del ánodo: $H_2 \rightarrow 2H^+ + 2e^-$

Reacción de reducción de cátodo: $2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2$

- 15 Reacción electroquímica general: $H_2 \rightarrow H_2$

Los EHC que funcionan de esta manera a veces se denominan bombas de hidrógeno. Cuando el hidrógeno acumulado en el cátodo se restringe a un espacio confinado, la celda comprime el hidrógeno y, por lo tanto, aumenta la presión dentro de ese espacio. Se pueden vincular múltiples celdas en serie para formar un EHC de múltiples etapas. En un EHC de múltiples etapas, por ejemplo, la ruta del flujo de gas, puede configurarse de tal manera que el gas de salida comprimido de la primera celda se convierta en el gas de entrada de la segunda celda. Alternativamente, las celdas de una sola etapa se pueden vincular en paralelo para aumentar la capacidad de rendimiento (es decir, la tasa de flujo de gas total) de un EHC.

La salida de un EHC puede incluir agua líquida y vapor de agua además de gas hidrógeno. El agua líquida se puede eliminar de la corriente de salida pasando la corriente a través de un separador de fase. Después de que se haya eliminado el agua líquida de la corriente de salida, se puede eliminar el vapor de agua de la corriente de gas. Los métodos convencionales para eliminar el vapor de agua de una corriente de gas pueden implicar la adsorción de vapor de agua en materiales adsorbentes a ciertas presiones y temperaturas. Ejemplos de estos métodos incluyen PSA y adsorción de oscilación de temperatura.

En un proceso de PSA convencional, una corriente de gas hidrógeno que contiene especies de impurezas se puede pasar a través de un lecho adsorbente a presiones elevadas durante un período de tiempo conocido como tiempo de adsorción. Elevar las presiones parciales de las impurezas puede hacer que las impurezas se adsorban en los materiales adsorbentes dentro del lecho adsorbente. Una vez alcanzado el tiempo de adsorción, el lecho adsorbente puede despresurizarse y purgarse para eliminar las impurezas y regenerar la capacidad de adsorción de los materiales adsorbentes. Normalmente, el tiempo de adsorción es fijo. El documento US 2008/0236396 divulga un sistema de recuperación de gas que incluye una fuente de gas productiva de una corriente gaseosa que comprende humedad, un secador de gas en comunicación fluida con y hacia abajo de la fuente de gas, y un compresor electroquímico en comunicación de fluido con y corriente abajo del secador de gas. El secador de gas está dispuesto para recibir la corriente gaseosa y producir una corriente de suministro sin humedad y una corriente de deslizamiento que comprende humedad. El compresor electroquímico está dispuesto para recibir la corriente de deslizamiento a una primera presión y producir una corriente comprimida a una segunda presión mayor que la primera presión.

En consideración a los factores mencionados anteriormente, la presente descripción está dirigida hacia un método para secar una corriente de hidrógeno húmedo. Además, un EHC puede suministrar la corriente de hidrógeno húmedo a un dispositivo PSA, y el tiempo del ciclo de alimentación (adsorción)/regeneración del dispositivo PSA puede optimizarse o controlarse en función de los parámetros operativos del EHC.

45 Los dispositivos PSA pueden separar fracciones de gas de mezclas de gases coordinando ciclos de presión y la inversión de flujo sobre un material adsorbente en un lecho adsorbente. El material adsorbente puede tener una afinidad sensible a la presión a al menos un componente en la mezcla de gases, y puede adsorber más fácilmente este componente de gas en comparación con al menos otro componente del gas. Durante la operación, un componente de la corriente de gas puede adsorberse en el lecho adsorbente a medida que aumenta la presión del gas en el lecho. Un producto "ligero", es decir, la corriente de gas sin el gas adsorbido, se puede eliminar del lecho. Los materiales en un lecho adsorbente pueden adsorber una masa finita del componente de gas. El lecho adsorbente se puede regenerar disminuyendo su presión, de manera que el gas adsorbido se desorbe de nuevo en una fase gas. El gas desorbido, es decir, el producto "pesado" se agota del lecho adsorbente. El proceso de aumento de la presión en el lecho adsorbente y la adsorción de un componente de gas se considera "alimentación", mientras que el proceso de disminución de la presión en el lecho adsorbente y la desorción del componente de gas se considera "regeneración". Por ejemplo, un lecho adsorbente puede adsorber una cantidad máxima de moléculas de un componente de gas cuando alcanza un límite de saturación. El lecho adsorbente debe regenerarse antes de adsorber más de este

componente de gas, mientras se encuentra en el límite de saturación. Los lechos adsorbentes pueden ciclarse a través de procesos de alimentación y regeneración durante períodos de tiempo iguales; Esto se conoce como un tiempo de conmutación constante.

5 El solicitante ha descubierto que cuando la tasa de flujo de masa de un componente de gas en un dispositivo PSA no es constante, el uso de un tiempo de conmutación constante puede dar lugar a ineficiencias con el dispositivo PSA. Esto también puede causar una conmutación rápida innecesaria, que puede resultar en un mayor desgaste en algunos de los componentes del dispositivo PSA, como las válvulas. El solicitante ha descubierto que al ajustar el tiempo de conmutación para un dispositivo PSA en función de los parámetros operativos del dispositivo PSA y el EHC, el tamaño de los lechos adsorbentes puede reducirse y la eficiencia del dispositivo PSA puede aumentar.

10 De acuerdo con la invención, un método para secar una mezcla de gas hidrógeno comprende: determinar una tasa de flujo de masa de agua \dot{m}_{H_2O} en una corriente de mezcla de gas hidrógeno y una capacidad adsorbente de uno o más lechos adsorbentes; determinar un primer período de tiempo basado en la tasa de flujo de masa de agua determinado \dot{m}_{H_2O} en la corriente de mezcla de gas hidrógeno y la capacidad del adsorbente; dirigir la corriente de mezcla de gas hidrógeno a través de un primer lecho adsorbente de uno o más lechos adsorbentes durante el primer período de tiempo; adsorber una cantidad de agua de la corriente de mezcla de gas hidrógeno en el primer lecho adsorbente; y regenerando el primer lecho adsorbente; en donde la corriente de mezcla de gas hidrógeno es suministrada por un compresor o electrolizador de hidrógeno electroquímico; el método comprende además la determinación de un compresor de hidrógeno electroquímico o una corriente i de pila de electrolizador, un compresor de hidrógeno electroquímico o temperatura T de salida de electrolizador, un compresor de hidrógeno electroquímico o presión P_{tot} de salida de electrolizador y una constante k ; en donde la tasa de flujo de masa de agua \dot{m}_{H_2O} se determina al menos calculando la cantidad de agua en la corriente de mezcla de gas de hidrógeno de acuerdo con la ecuación $\dot{m}_{H_2O} = k \cdot i \cdot T/P_{tot}$.

25 Diversas realizaciones de la divulgación pueden incluir uno o más de los siguientes aspectos: determinar un segundo período de tiempo de adsorción basado en la tasa de flujo de masa de agua determinado \dot{m}_{H_2O} en la corriente de mezcla de gas de hidrógeno y la capacidad de adsorción, y dirigir la corriente de mezcla de gas hidrógeno a través del primer lecho adsorbente durante un segundo período de tiempo, en donde el primer período de tiempo es diferente al segundo período de tiempo; dirigir la corriente de mezcla de gas hidrógeno a través de un segundo lecho adsorbente de uno o más lechos adsorbentes durante el segundo período de tiempo, y adsorber una cantidad de agua de la corriente de mezcla de gas hidrógeno hacia el segundo lecho adsorbente, la cantidad de agua adsorbida por el primer lecho adsorbente durante el primer período de tiempo puede ser sustancialmente igual a la cantidad de agua adsorbida por el segundo lecho adsorbente durante el segundo período de tiempo; cada una de la cantidad de agua adsorbida por el primer lecho adsorbente durante el primer período de tiempo y la cantidad de agua adsorbida por el segundo lecho adsorbente durante el segundo período de tiempo puede ser menor que la cantidad máxima de agua que puede ser adsorbida por el primer y segundo lechos adsorbentes respectivos; la regeneración del primer lecho adsorbente puede incluir dirigir una corriente de gas diferente a través del primer lecho adsorbente, y desorber una cantidad de agua desde el primer lecho adsorbente hacia la corriente de gas diferente; la corriente de gas diferente puede ser una corriente de gas hidrógeno seco; al menos una porción de la corriente de gas diferente puede incluir una porción de la corriente de mezcla de gas hidrógeno una vez que la corriente de mezcla de gas hidrógeno pase a través del primer lecho adsorbente; la tasa de flujo de masa de agua \dot{m}_{H_2O} se puede determinar al menos midiendo la cantidad de agua en la corriente de mezcla de gas hidrógeno.

Los objetos y ventajas adicionales de las realizaciones se expondrán en parte en la descripción que sigue, y en parte serán evidentes a partir de la descripción, o se pueden aprender mediante la práctica de las realizaciones. Los objetos y ventajas de las realizaciones se realizarán y se lograrán por medio de los elementos y combinaciones particularmente señalados en las reivindicaciones adjuntas.

45 Debe entenderse que tanto la descripción general anterior como la siguiente descripción detallada son solo a modo de ejemplos y explicativas y no son restrictivas de la invención, como se reivindica.

Los dibujos adjuntos, que se incorporan y constituyen una parte de esta especificación, ilustran la divulgación y, junto con la descripción, sirven para explicar los principios de la divulgación.

La figura 1 ilustra un diagrama de un dispositivo de purificación basado en la adsorción por oscilación de presión.

50 La figura 2 ilustra un diagrama de un dispositivo de purificación basado en la adsorción por oscilación de presión.

La figura 3 ilustra un diagrama de un dispositivo de purificación basado en la adsorción por oscilación de presión.

La figura 4 ilustra un diagrama de un dispositivo de purificación basado en la adsorción por oscilación de presión.

Ahora se hará referencia en detalle a las realizaciones de ejemplo de la presente divulgación descrita a continuación e ilustrada en los dibujos adjuntos. Siempre que sea posible, se utilizarán los mismos números de referencia en todos los dibujos para referirse a partes iguales o similares.

Otras características y ventajas y usos potenciales de la presente divulgación se harán evidentes para alguien experto en la técnica a partir de la siguiente descripción de la divulgación, que se refiere a los dibujos adjuntos.

la figura 1 representa un esquema de un dispositivo 9 PSA en una primera configuración. El dispositivo 9 PSA incluye un primer lecho 1 adsorbente, un segundo lecho 2 adsorbente, una primera válvula 7 de cuatro vías que tiene posiciones primera y segunda configurables, y una segunda válvula 8 de cuatro vías, que también tiene posiciones primera y segunda configurables. De manera similar, la figura 2 muestra el dispositivo 9 PSA en una segunda configuración. En la primera configuración, las válvulas 7 y 8 de cuatro vías están en la primera posición, mientras que en la segunda configuración, las válvulas 7 y 8 de cuatro vías están en la segunda posición.

En una operación de adsorción o alimentación, de acuerdo con una realización de ejemplo, un EHC 10 (o un electrolizador) recibe y presuriza una mezcla 12 de gas hidrógeno y suministra una mezcla 3 de gas hidrógeno (por ejemplo, una corriente de gas hidrógeno húmedo que incluye gas hidrógeno y vapor de agua) a la válvula 7 de cuatro vías. Cuando la válvula 7 de cuatro vías está en la primera posición, la mezcla 3 de gas hidrógeno puede dirigirse al primer lecho 1 adsorbente. La mezcla 3 de gas hidrógeno puede establecer un gradiente de presión a través del primer lecho 1 adsorbente en la dirección de la válvula 7 de cuatro vías hacia la válvula 8 de cuatro vías. El primer lecho 1 adsorbente puede comprender un material que tiene una afinidad con el agua que aumenta al aumentar la presión. Como un ejemplo no limitativo, el primer lecho 1 adsorbente puede comprender uno o más de un desecante, como sílice, carbono o nanopartículas de silicio, partículas tratadas en la superficie, óxido de aluminio y zeolitas. Debido a la presión de la mezcla 3 de gas hidrógeno, el primer lecho 1 adsorbente puede adsorber una fracción del vapor de agua de la mezcla 3 de gas hidrógeno, de modo que el gas se vuelva más seco. Este gas de secado se representa como gas 6 de hidrógeno seco en la figura 1. Después de eliminar una porción o todo el vapor de agua de la mezcla 3 de gas hidrógeno, el gas 6 de hidrógeno seco puede salir a través de la válvula 8 de cuatro vías.

Simultáneamente, puede tener lugar una operación de regeneración en el segundo lecho 2 adsorbente, mientras que la operación de adsorción tiene lugar en el primer lecho 1 adsorbente. Durante esta operación de regeneración, se puede suministrar gas 5 hidrógeno seco a la válvula 8 de cuatro vías. Durante esta operación, el gas 5 hidrógeno seco puede estar a una presión más baja que el gas 6 hidrógeno seco. El gas 5 hidrógeno seco puede suministrarse desde una fuente de gas hidrógeno discreta (no mostrada), o puede derivarse del gas 6 hidrógeno seco a una presión más baja. Cuando la válvula 8 de cuatro vías está en la primera posición, el gas 5 hidrógeno seco puede dirigirse al segundo lecho 2 adsorbente. Debido a la baja presión del gas 5 hidrógeno seco en comparación con la presión de la mezcla 3 de gas hidrógeno o el gas 6 hidrógeno seco, el gas 5 hidrógeno seco puede desorber una fracción de agua adsorbida en el segundo lecho 2 adsorbente, de modo que el gas se humedezca. Este gas húmedo se representa como gas 4 hidrógeno húmedo. Después de la adición de agua al gas 5 hidrógeno seco, el gas 4 hidrógeno húmedo puede salir a través de la válvula 7 de cuatro vías.

la figura 2 muestra el ciclo de adsorción y regeneración del dispositivo 9 PSA en una segunda configuración. La segunda configuración difiere de la primera configuración en que las válvulas 7 y 8 de cuatro vías están en sus segundas posiciones en lugar de sus primeras posiciones. Durante el ciclo de adsorción, el primer lecho 1 adsorbente puede adsorber agua hasta que alcance una capacidad máxima o un límite de saturación. Para evitar que el primer lecho 1 adsorbente se sature completamente, o para permitir que el primer lecho adsorbente pueda eliminar una cantidad de agua que de otra manera excedería la cantidad de agua en su límite de saturación, el dispositivo 9 PSA puede revertir su adsorción y los ciclos de regeneración, es decir, el primer lecho 1 adsorbente se regenera y el segundo lecho 2 adsorbente elimina el vapor de agua de la mezcla 3 de gas hidrógeno.

Después de que las válvulas 7 y 8 de cuatro vías hayan conmutado de la primera posición a la segunda posición, el EHC 10 puede continuar suministrando la mezcla 3 de gas hidrógeno a la válvula 7 de cuatro vías. La mezcla 3 de gas hidrógeno puede ser enrutada al segundo lecho 2 adsorbente, debido a que la válvula 7 de cuatro vías está en la segunda posición. La mezcla 3 de gas hidrógeno puede establecer un gradiente de presión a través del segundo lecho 2 adsorbente en la dirección de la válvula 7 de cuatro vías hacia la válvula 8 de cuatro vías. El segundo lecho 2 adsorbente también puede comprender materiales adsorbentes, de manera similar al primer lecho 1 adsorbente. Los materiales adsorbentes en el segundo lecho 2 adsorbente pueden ser diferentes de los materiales adsorbentes en el primer lecho 1 adsorbente. Debido a la presión de la mezcla 3 de gas hidrógeno, el segundo lecho 2 adsorbente puede adsorber una fracción del vapor de agua de la mezcla 3 de gas hidrógeno, de tal manera que el gas se vuelve más seco. Este gas de secado se representa como gas 6 hidrógeno seco en la figura 2. Después de eliminar el vapor de agua de la mezcla 3 de gas hidrógeno, el gas 6 hidrógeno seco puede salir a través de la válvula 8 de cuatro vías.

Simultáneamente, puede tener lugar una operación de regeneración en el primer lecho 1 adsorbente, mientras que la operación de adsorción tiene lugar en el segundo lecho 2 adsorbente. Durante esta operación de regeneración, se puede suministrar gas 5 hidrógeno seco a la válvula 8 de cuatro vías. El gas 5 hidrógeno seco puede dirigirse al primer lecho 1 adsorbente debido a que la válvula 8 de cuatro vías está en la segunda posición. Debido a la menor presión del gas 5 hidrógeno seco en comparación con la presión de la mezcla 3 de gas hidrógeno o del gas 6 hidrógeno seco, el gas 5 hidrógeno seco puede desorber una fracción de agua adsorbida en el primer lecho 1 adsorbente, de manera que el gas se humedece. Este gas húmedo se representa como gas 4 hidrógeno húmedo. Después de la adición de agua al gas 5 hidrógeno seco, el gas 4 hidrógeno húmedo puede salir a través de la válvula 7 de cuatro vías. Después de salir del dispositivo 9 PSA, el gas 4 hidrógeno húmedo puede ser reciclado al EHC 10, o puede ser usado en otros

procesos. Por ejemplo, el gas 4 hidrógeno húmedo puede dirigirse a un quemador para generar calor para otros procesos.

5 El dispositivo 9 PSA puede conmutar de la primera configuración a la segunda configuración antes de que el primer lecho 1 adsorbente se sature completamente. Del mismo modo, el dispositivo 9 PSA puede cambiar de la segunda configuración a la primera configuración antes de que el segundo lecho 2 adsorbente se sature completamente. Para determinar los tiempos de conmutación operacional, un controlador 11 puede accionar las válvulas 7 y 8 de cuatro vías, por ejemplo, en forma de solenoides, en función de los parámetros operacionales del dispositivo 9 PSA y/o el EHC 10.

10 La tasa de flujo de masa de gas hidrógeno y vapor de agua de la mezcla 3 de gas hidrógeno se determina en función de las mediciones del EHC 10, como la corriente de pila, la temperatura, la presión, la humedad relativa y las tasas de flujos volumétricos. El controlador 11 puede realizar un control integral integrando la tasa de flujo de masa de agua para calcular la masa de agua en la mezcla 3 de gas hidrógeno durante un período de tiempo dado. La tasa de flujo de masa de hidrógeno y agua se puede determinar calculando presiones parciales para cada hidrógeno y agua en la mezcla 3 de gas hidrógeno. Por ejemplo, la tasa de flujo de masa de agua se puede determinar resolviendo la ecuación 1, donde \dot{m}_{H_2O} es la tasa de flujo de masa de agua, \dot{m}_{H_2} es la tasa de flujo de masa de hidrógeno, \hat{m}_{H_2O} es el peso molecular del agua, \hat{m}_{H_2} es el peso molecular del hidrógeno, P_{H_2O} es la presión parcial del agua y P_{tot} es la presión de salida del EHC (o electrolizador).

$$\text{Ecuación 1: } \dot{m}_{H_2O} = \dot{m}_{H_2} \cdot \frac{\hat{m}_{H_2O}}{\hat{m}_{H_2}} \cdot \frac{P_{H_2O}}{P_{tot}}$$

20 Además, la ecuación 1 se puede reescribir en términos de la concentración de agua C_{H_2O} como ecuación 2, en donde k_1 es una constante.

$$\text{Ecuación 2: } \dot{m}_{H_2O} = \dot{m}_{H_2} \cdot k_1 \cdot C_{H_2O}$$

De este modo, la tasa de flujo de masa de agua puede determinarse midiendo directamente la tasa de flujo de masa de hidrógeno y la concentración de agua.

25 Además, el solicitante ha encontrado que la tasa de flujo de masa de hidrógeno es proporcional a la corriente i de pila EHC, y que la tasa de flujo de masa de hidrógeno es proporcional a la temperatura T de salida EHC. Por lo tanto, la tasa de flujo de masa de hidrógeno es expresada por la ecuación 3, donde k_2 es una constante.

$$\text{Ecuación 3: } \dot{m}_{H_2O} = k_2 \cdot i \cdot \frac{T}{P_{tot}}$$

30 Además, se puede calcular una presión parcial de cualquier impureza en la mezcla 3 de gas hidrógeno. Además, la cantidad máxima de agua que los lechos 1 y 2 adsorbentes pueden adsorber puede calcularse basándose en el volumen de los lechos 1 y 2 adsorbentes, la densidad adsorbente del material adsorbente y la capacidad adsorbente del material adsorbente. La densidad del adsorbente y la capacidad adsorbente de los materiales adsorbentes pueden ser cantidades conocidas.

35 El controlador 11 puede conmutar entre las operaciones de adsorción y regeneración del dispositivo 9 PSA cuando la masa de agua calculada en la mezcla 3 de gas hidrógeno es igual o superior al límite de saturación de los lechos 1 y 2 adsorbentes. Además, se puede aplicar un factor de seguridad a esta comparación, de modo que puede ocurrir una conmutación cuando la masa de agua en la mezcla 3 de gas hidrógeno es igual a un porcentaje predeterminado del límite de saturación de los lechos 1 y 2 adsorbentes. Por ejemplo, si un factor de seguridad de 2 es seleccionado, la conmutación puede ocurrir cuando la masa de agua adsorbida en los lechos 1 y 2 adsorbentes alcanza el 50% de su límite de saturación. Se puede seleccionar un factor de seguridad entre 1 y 10, aunque también se puede seleccionar un factor de seguridad superior a 10. La conmutación puede ocurrir cuando el controlador 11 envía una señal de control a las válvulas 7 y 8.

45 La tasa de flujo de masa de agua en la mezcla 3 de gas hidrógeno puede variar durante el funcionamiento. Por lo tanto, las operaciones de adsorción y regeneración del dispositivo 9 PSA pueden optimizarse ajustando el tiempo de conmutación en función de la masa de agua introducida en los lechos 1 y 2 adsorbentes durante las operaciones de adsorción respectivas.

50 Aunque solo los lechos 1 y 2 adsorbentes están representados en las figuras 1 y 2, el dispositivo 9 PSA puede incluir lechos N adsorbentes adicionales. Cualquiera de los lechos N adsorbentes puede tener la misma capacidad que los lechos 1 o 2 adsorbentes, o puede tener una capacidad diferente. Además, cualquiera de los lechos N adsorbentes puede operar en la misma fase que los lechos 1 o 2 adsorbentes, o puede operar en diferentes fases (o de manera asíncrona). Por ejemplo, un lecho $N1$ adsorbente adicional puede operar en una operación de adsorción, de modo que una válvula que controla la entrada de la mezcla 3 de gas hidrógeno se abra en algún período de tiempo después de

que la válvula 7 de cuatro vías se conmute a la primera posición. Del mismo modo, una válvula diferente que controla la entrada de un gas 5 hidrógeno seco al lecho N1 adsorbente puede abrirse en algún período de tiempo después de que la válvula de cuatro vías se conmute a la segunda posición, conmutando así la operación de lecho N1 adsorbente a operación de regeneración.

- 5 Los tiempos de conmutación de las operaciones de alimentación y regeneración del dispositivo 9 PSA pueden estar predeterminados inicialmente. Además, la tasa de flujo de masa de agua en la mezcla 3 de gas hidrógeno se puede calcular, y cuando este valor aumenta en una cantidad predeterminada, el tiempo de conmutación puede aumentar temporalmente para acomodar un aumento en el agua que los lechos 1 y 2 adsorbentes pueden eliminar. Después de
10 que la tasa de flujo de masa de agua en la mezcla 3 de gas hidrógeno caiga por debajo de un valor predeterminado, el tiempo de conmutación puede volver a su valor inicial.

También se puede emplear el control de realimentación del tiempo de conmutación. Por ejemplo, la cantidad de agua en el gas 6 hidrógeno seco, el gas 5 hidrógeno húmedo, y/o los lechos 1 y 2 adsorbentes primero y segundo pueden medirse directamente mediante sensores de humedad y/o químicos (no mostrados). El controlador 11 puede recibir retroalimentación de los sensores de humedad y/o químicos y puede ajustar los tiempos de conmutación que se
15 calcularon previamente a partir de los parámetros del dispositivo 9 PSA y EHC 10 en función de estas mediciones.

En otras realizaciones, solo se puede usar un lecho adsorbente. Para este proceso, el flujo de una mezcla de gas hidrógeno se puede suministrar a una primera válvula de dos vías. Cuando se abre la primera válvula de dos vías, la mezcla de gas hidrógeno puede fluir al lecho adsorbente. En el lecho adsorbente, el agua puede ser adsorbida de
20 manera similar a los lechos 1 y 2 adsorbentes descritos anteriormente. El gas ligero puede salir del lecho adsorbente a través de una segunda válvula de dos vías.

A continuación, el lecho adsorbente se puede regenerar. Para este proceso, la primera y la segunda válvulas de dos vías pueden cerrarse sustancialmente al mismo tiempo. La segunda válvula de dos vías puede cerrarse antes del primer cierre de la válvula de dos vías. En este punto, el flujo de la mezcla de gas hidrógeno en el lecho adsorbente puede detenerse temporalmente. Para adaptarse a un aumento potencial de la presión, un tanque colocado en serie
25 con y entre el ECH y el dispositivo PSA puede servir como regulador. Alternativamente, el flujo de la mezcla de gas hidrógeno puede desviarse a un tanque de retención para almacenar temporalmente el gas mientras el lecho adsorbente se está regenerando. El lecho adsorbente puede regenerarse haciendo fluir un gas hidrógeno seco a través de él a baja presión como en el primer y segundo lecho adsorbente descritos anteriormente. Esto se puede lograr a través de dos válvulas de dos vías adicionales. Específicamente, una tercera válvula de dos vías puede
30 colocarse entre el suministro de gas hidrógeno seco y el lecho adsorbente, y una cuarta válvula de dos vías puede servir como una salida para descargar el gas pesado. Una vez que el lecho se ha regenerado, la tercera y cuarta válvulas de dos vías pueden cerrarse, y la primera y la segunda válvulas de dos vías pueden abrirse.

la figura 3 representa otro dispositivo PSA. Este dispositivo puede funcionar sustancialmente similar al uno divulgado en las figuras 1 y 2 discutidas anteriormente. Sin embargo, el dispositivo PSA puede incluir un par de válvulas 13 y 14
35 de dos vías, en la posición de las válvulas 7 y 8 de cuatro vías. Durante una operación de adsorción, el controlador 11 puede enviar una señal de control para abrir simultáneamente dos (2) de las válvulas 13 de dos vías y cierre dos (2) de las válvulas 14 de dos vías asociadas con un lecho adsorbente particular. Además, durante una operación de regeneración, el controlador 11 puede enviar una señal de control para cerrar simultáneamente dos (2) de las válvulas 13 de dos vías y abrir dos (2) de las válvulas 14 de dos vías asociadas con un lecho adsorbente particular.

la figura 4 representa otro dispositivo PSA. Este puede funcionar sustancialmente similar al uno divulgado en la figura 3 y discutido anteriormente. Sin embargo, el dispositivo PSA puede incluir una válvula 15 de retención, en lugar de uno (1) de los pares de válvulas 13 y 14 de dos vías asociadas con cada lecho adsorbente. Preferiblemente, la válvula
40 de retención está colocada entre los lechos adsorbentes y el gas 6 hidrógeno seco.

REIVINDICACIONES

1. Un método para secar una mezcla de gas hidrógeno, que comprende:
 determinar una tasa de flujo de masa de agua \dot{m}_{H_2O} en una corriente de mezcla de gas hidrógeno y una capacidad adsorbente de uno o más lechos adsorbentes;
- 5 determinar un primer período de tiempo basado en la tasa de flujo de masa de agua \dot{m}_{H_2O} determinado en la corriente de mezcla de gas hidrógeno y la capacidad del adsorbente;
 dirigir la corriente de mezcla de gas hidrógeno a través de un primer lecho adsorbente de uno o más lechos adsorbentes durante el primer período de tiempo;
 adsorber una cantidad de agua de la corriente de mezcla de gas hidrógeno en el primer lecho adsorbente; y
- 10 regenerar el primer lecho adsorbente;
 caracterizado porque
 La corriente de mezcla de gas hidrógeno es suministrada por un compresor o electrolizador de hidrógeno electroquímico;
- 15 El método comprende además la determinación de un compresor de hidrógeno electroquímico o una corriente i de pila del electrolizador, un compresor de hidrógeno electroquímico o temperatura T de salida del electrolizador, un compresor de hidrógeno electroquímico o presión P_{tot} de salida del electrolizador y una constante k ;
 en donde la tasa de flujo de masa de agua \dot{m}_{H_2O} se determina al menos calculando la cantidad de agua en la corriente de mezcla de gas hidrógeno de acuerdo con la ecuación $\dot{m}_{H_2O} = k * i * T/P_{tot}$.
2. El método de la reivindicación 1, que comprende además:
- 20 determinar un segundo período de tiempo basado en la tasa de flujo de masa de agua determinado \dot{m}_{H_2O} en la corriente de mezcla de gas hidrógeno y la capacidad adsorbente; y
 dirigir la corriente de mezcla de gas hidrógeno a través del primer lecho adsorbente durante un segundo período de tiempo;
 en donde el primer periodo de tiempo es diferente al segundo periodo de tiempo.
- 25 3. El método de la reivindicación 2, que comprende además:
 dirigir la corriente de mezcla de gas hidrógeno a través de un segundo lecho adsorbente de uno o más lechos adsorbentes durante el segundo período de tiempo; y
 adsorber una cantidad de agua de la corriente de mezcla de gas hidrógeno en el segundo lecho adsorbente.
- 30 4. El método de la reivindicación 3, en donde la cantidad de agua adsorbida por el primer lecho adsorbente durante el primer periodo de tiempo es sustancialmente la misma que la cantidad de agua adsorbida por el segundo lecho adsorbente durante el segundo período de tiempo.
- 35 5. El método de la reivindicación 4, en el que cada una de la cantidad de agua adsorbida por el primer lecho adsorbente durante el primer período de tiempo y la cantidad de agua adsorbida por el segundo lecho adsorbente durante el segundo período de tiempo es menor que la cantidad máxima de agua que puede ser adsorbida por los respectivos lechos adsorbentes primero y segundo.
6. El método de la reivindicación 1, en el que regenerar el primer lecho adsorbente incluye dirigir una corriente de gas diferente a través del primer lecho adsorbente, y desorber una cantidad de agua desde el primer lecho adsorbente hacia la corriente de gas diferente.
7. El método de la reivindicación 6, en el que la corriente de gas diferente es una corriente de gas hidrógeno seco.
- 40 8. El método de la reivindicación 6, en el que al menos una parte de la corriente de gas diferente incluye una parte de la corriente de mezcla de gas hidrógeno una vez que la corriente de mezcla de gas hidrógeno pasa a través del primer lecho adsorbente.
9. El método de la reivindicación 1, que comprende además determinar una tasa de flujo de masa de hidrógeno \dot{m}_{H_2} , una concentración de agua C_{tot} y una constante k ;
- 45 en donde la tasa de flujo de masa de agua \dot{m}_{H_2O} se determina al menos calculando la cantidad de agua en la corriente de mezcla de gas hidrógeno de acuerdo con la ecuación $\dot{m}_{H_2O} = k * \dot{m}_{H_2} * C_{H_2O}$.

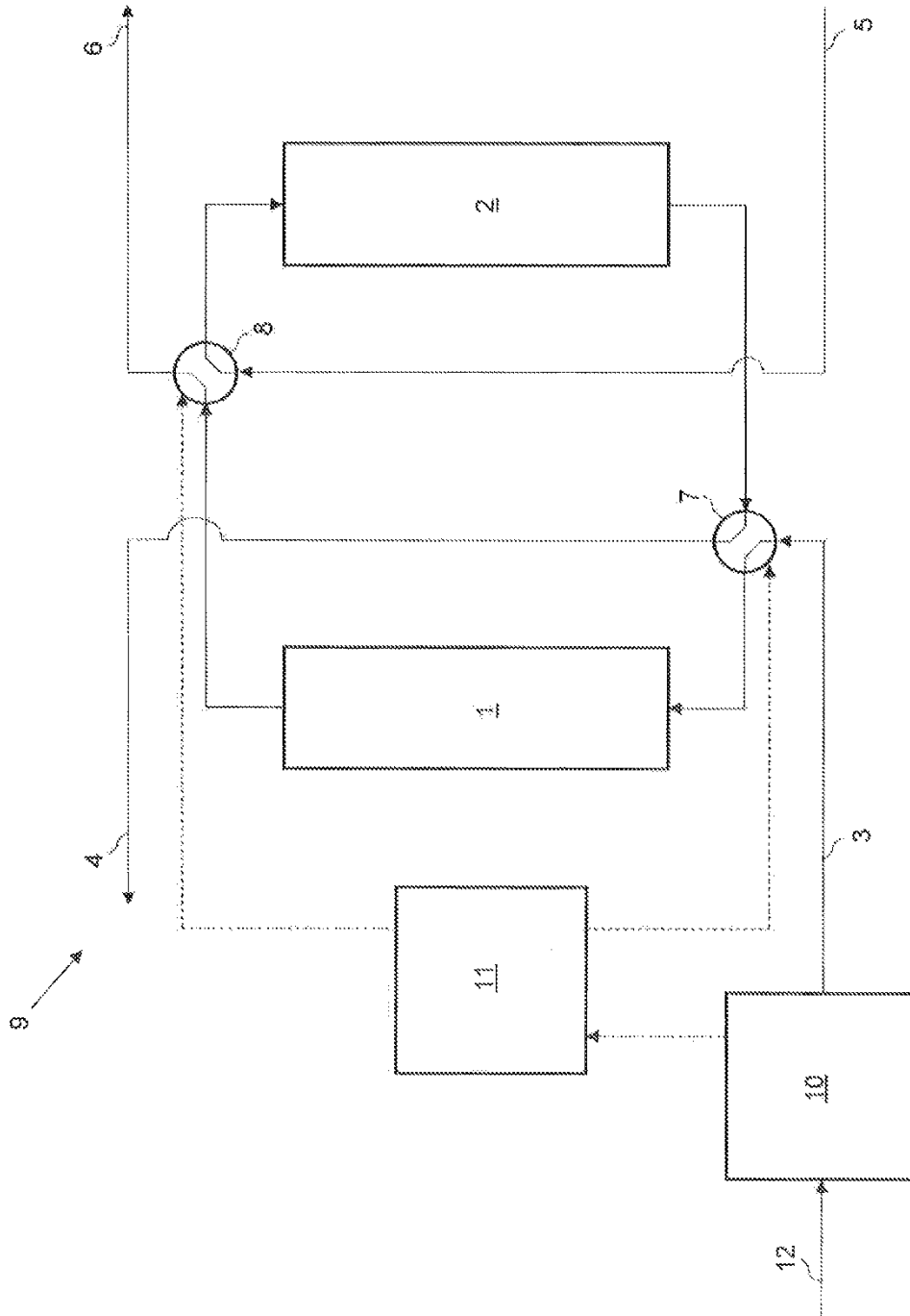


FIG. 1

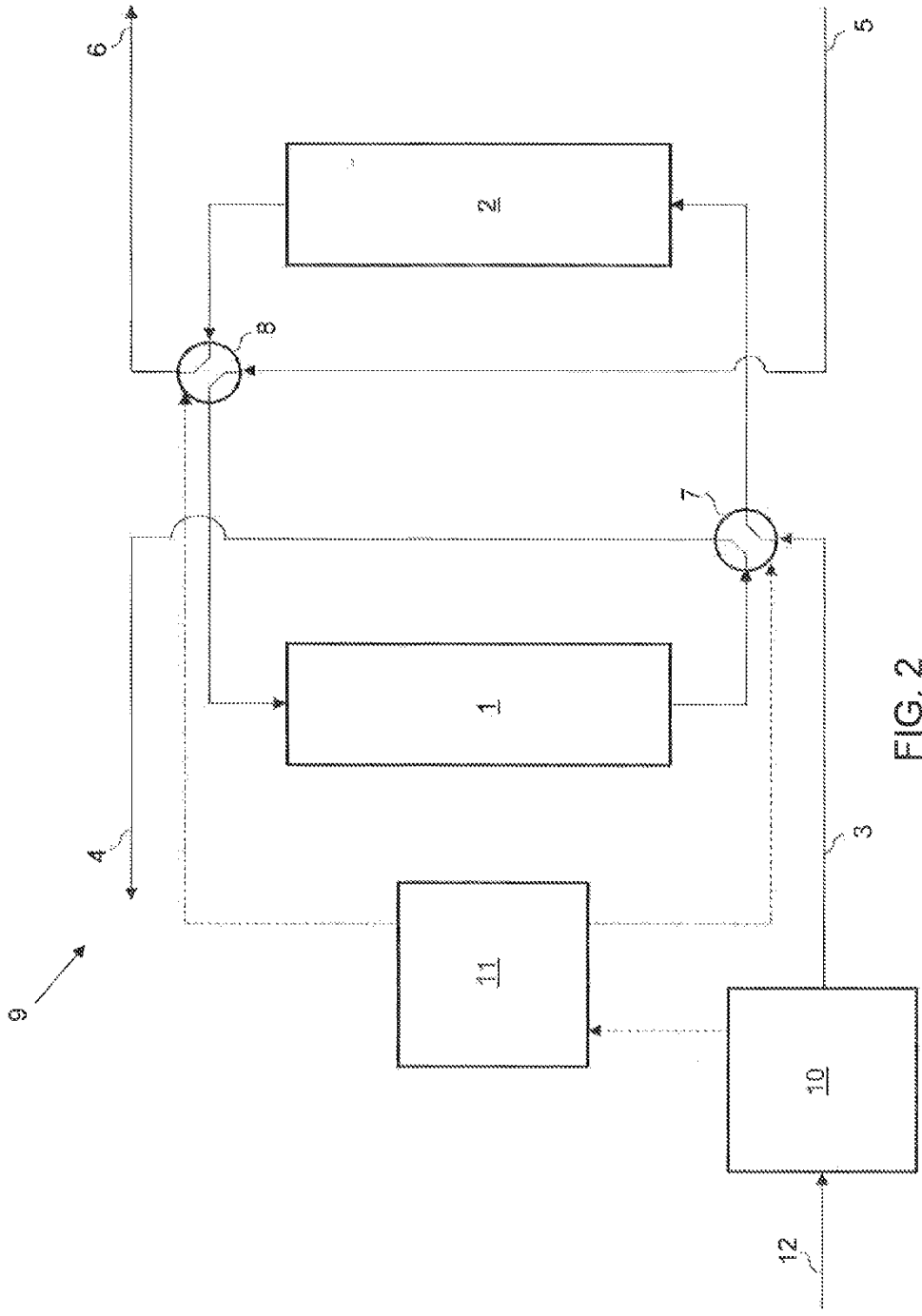


FIG. 2

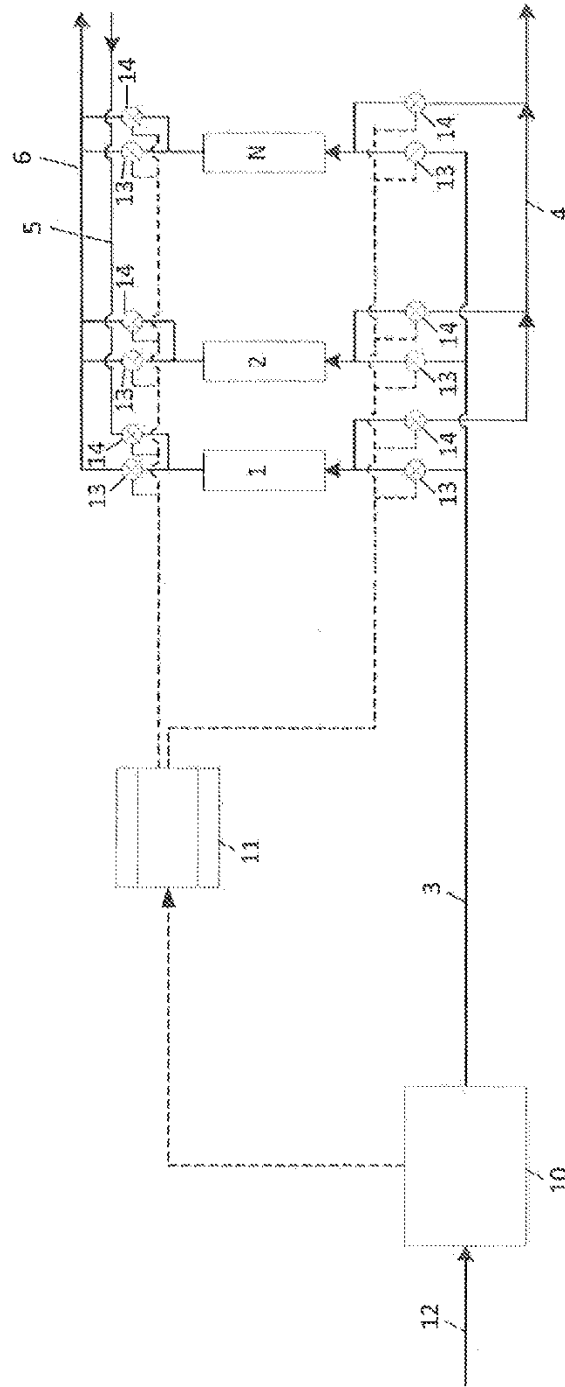


FIG. 3

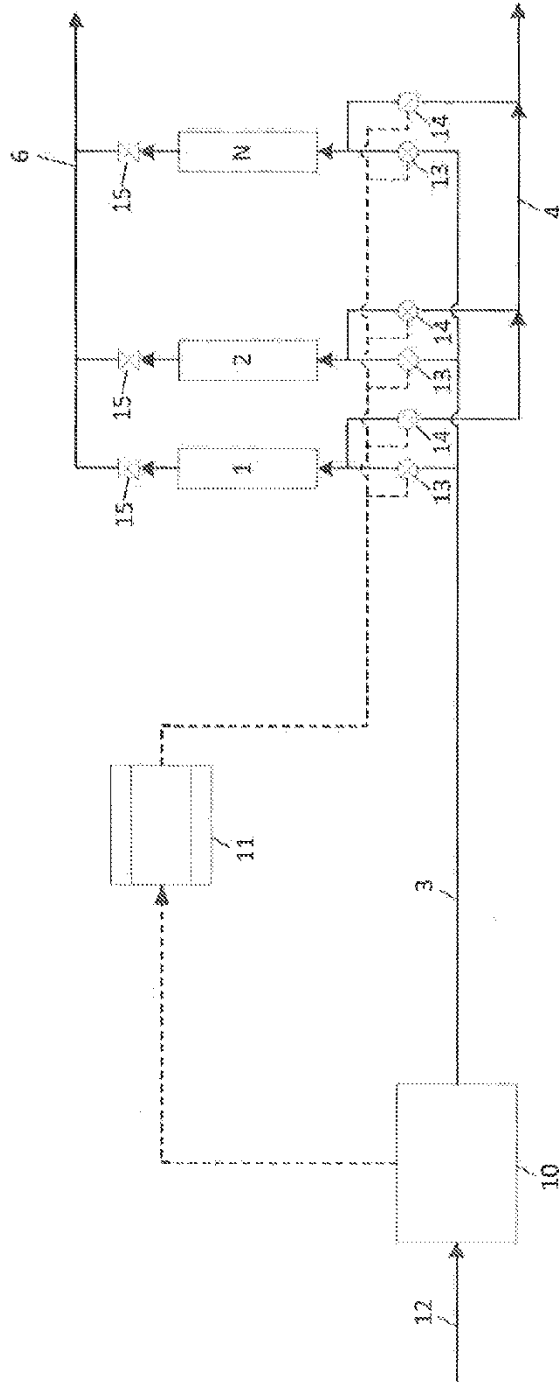


FIG. 4