(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 769 830**

(51) Int. Cl.:

C01B 3/56 (2006.01)
C25B 1/12 (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: **30.06.2015 PCT/US2015/038550**

(87) Fecha y número de publicación internacional: **07.01.2016 WO16004036**

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **30.06.2015 E 15745291 (3)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **08.01.2020 EP 3164357**

(54) Título: **Sistema y método para regenerar el lecho absorbedor para secar hidrógeno humidificado comprimido**

(30) Prioridad:

03.07.2014 US 201462020475 P

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
29.06.2020

(73) Titular/es:

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

(72) Inventor/es:

VANZANDT, KYLE y
GORDON, BRYAN

(74) Agente/Representante:

SÁEZ MAESO, Ana

ES 2 769 830 T3

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

DESCRIPCIÓN

Sistema y método para regenerar el lecho absorbedor para secar hidrógeno humidificado comprimido

La presente divulgación está dirigida a un sistema y método para regenerar un lecho absorbedor, y más particularmente, un lecho absorbedor usado para secar hidrógeno humidificado comprimido.

El hidrógeno se ha convertido en una alternativa viable a las fuentes de energía tradicionales. La comercialización exitosa del hidrógeno como portador de energía y la sostenibilidad a largo plazo de una "economía del hidrógeno" depende en gran medida de la eficiencia y la rentabilidad de las celdas de combustible de hidrógeno, las celdas de electrólisis de hidrógeno, la generación de hidrógeno, los sistemas de manipulación/gestión del hidrógeno (por ejemplo, compresores), y sistemas de distribución de hidrógeno.

En la actualidad, los combustibles fósiles son una fuente importante de hidrógeno industrial. El hidrógeno puede generarse a partir del gas natural o de otros hidrocarburos. Un método popular por el cual se puede generar hidrógeno para el almacenamiento es reformando con vapor metano o gas 111 natural usando un reformador 110, que produce gas 121 de síntesis, como se muestra en la FIG. 1. El gas de síntesis es una mezcla que consiste principalmente en hidrógeno, dióxido de carbono y muy a menudo algo de monóxido de carbono. El hidrógeno dentro del gas de 121 síntesis puede purificarse pasándolo a través de un absorbedor 120 configurado para eliminar el monóxido de carbono y cualquier dióxido de carbono que deje una corriente 131 de hidrógeno concentrado. El hidrógeno gaseoso es un medio conveniente y eficiente de almacenamiento de energía, generalmente mediante contención presurizada. Ventajosamente, almacenar hidrógeno a alta presión produce una alta densidad de energía.

La compresión mecánica es un medio tradicional para lograr la compresión. Sin embargo, existen desventajas en la compresión mecánica. Por ejemplo, uso sustancial de energía, desgaste por uso en piezas móviles, ruido excesivo, equipos voluminosos y fragilidad de hidrógeno. La presurización por ciclos térmicos es una alternativa a la compresión mecánica, pero al igual que la compresión mecánica, el uso de energía es sustancial. Por el contrario, la compresión electroquímica que utiliza un compresor de hidrógeno electroquímico (EHC) es silenciosa, escalable, modular y puede lograr una alta eficiencia energética. El documento US 2008/0236396 A1 divulga, por ejemplo, tal EHC. En consecuencia, véase la Figura 1 actual, la corriente 131 de hidrógeno concentrado, producida por el absorbedor 120, puede comprimirse para almacenamiento presurizado por un EHC 140.

El EHC 140 puede usarse para transferir selectivamente hidrógeno de un lado de una celda a otro. EHC 140 puede comprender, por ejemplo, una membrana de intercambio de protones intercalada entre un primer electrodo (es decir, un ánodo) y un segundo electrodo (es decir, un cátodo). Un gas que contiene hidrógeno puede contactar al primer electrodo y se puede aplicar una diferencia de potencial eléctrico entre el primer y el segundo electrodo. En el primer electrodo, las moléculas de hidrógeno pueden oxidarse y la reacción puede producir dos electrones y dos protones. Los dos protones pueden ser conducidos electroquímicamente a través de la membrana hasta el segundo electrodo de la celda, donde pueden ser reunidos por dos electrones redirigidos y reducidos para formar una molécula de hidrógeno. Los EHC que funcionan de esta manera a veces se denominan bombas de hidrógeno. Cuando el hidrógeno acumulado en el segundo electrodo está restringido a un espacio confinado, la celda electroquímica comprime el hidrógeno o aumenta la presión.

Un EHC que contiene una celda de combustible PEM requiere un cierto nivel de humedad para facilitar la conductividad de la membrana. Una membrana PEM que está menos que completamente hidratada puede causar una disminución en la conductividad protónica y puede resultar en pérdida resistiva, disminución del rendimiento y disminución de la vida útil de la membrana. Por otro lado, la presencia de demasiada humedad en la membrana puede inundar la membrana, bloqueando potencialmente los canales de flujo a través de la membrana y afectando negativamente el rendimiento y la vida útil operativa. Por lo tanto, la corriente 131 de hidrógeno concentrado, antes de entrar al EHC 140, puede pasar a través de un humidificador 130, produciendo una corriente 141 de hidrógeno humidificado, como se muestra en la FIG. 1

La corriente 141 de hidrógeno humidificado se puede comprimir produciendo una corriente 142 de hidrógeno humidificado presurizado. Antes del almacenamiento, es ventajoso pasar la corriente 142 de hidrógeno humidificado presurizado a través de un secador 150 con el fin de reducir el nivel de humedad dentro del intervalo deseado para el almacenamiento y posterior utilización. El umbral de humedad deseado puede variar para diferentes aplicaciones. Por ejemplo, un estándar es SAE-J2719, que requiere 5 partes por millón (ppm). En algunas realizaciones, el umbral de humedad puede ser igual o inferior a 5 ppm (es decir, menos un punto de rocío de 70°C). Por consiguiente, como se muestra en la FIG. 1, la corriente 142 de hidrógeno humidificado presurizado puede suministrarse al secador 150 que tiene un primer lecho 151 y un segundo lecho 152. La corriente 142 de hidrógeno humidificado puede suministrarse a uno o más lechos (por ejemplo, el primer lecho 151 y un segundo lecho 152), que están en línea y en modo de producción. El secador 150 puede utilizar la adsorción por oscilación de presión dentro del primer lecho 151 y/o el segundo lecho 152 mientras está en modo de producción para adsorber al menos una porción de la humedad de la corriente 142 de hidrógeno humidificado presurizado, que produce una corriente 161 de producto de hidrógeno. Después de un período, el lecho en línea (es decir, el primer lecho 151 o el segundo lecho 152) que funciona en modo de producción se saturará, momento en el cual se prefiere que se desconecte y se conmute a un

modo de regeneración. Cuando un lecho se conmuta al modo de regeneración, el otro lecho se puede conmutar al modo de producción para permitir la deshumidificación continua de hidrógeno.

Un método tradicional para regenerar un lecho agotado es soplando el lecho (por ejemplo, contracorriente a la dirección del flujo de producción) usando la corriente 161 de producto de hidrógeno para eliminar las impurezas del lecho agotado. Sin embargo, la utilización de la corriente 152 de producto de hidrógeno para el soplado disminuye la capacidad de rendimiento general del EHC 140 y el secador 150, aumenta el tiempo de ejecución requerido para producir un volumen dado del producto 152 de hidrógeno para el almacenamiento final, que reduce la eficiencia general del sistema y disminuye la viabilidad económica del hidrógeno como fuente de combustible El documento US 2008/0040862 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 corriente abajo de la fuente de gas, y un compresor electroquímico en comunicación fluida 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 en ausencia de humedad y una corriente deslizante 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 de las circunstancias mencionadas anteriormente, la presente divulgación proporciona un método y un sistema mejorados para regenerar un lecho absorbedor usado para secar hidrógeno humidificado presurizado.

En un aspecto, la presente divulgación está dirigida a un sistema para comprimir y secar hidrógeno como se define en la reivindicación 1.

En otro aspecto, la presente divulgación está dirigida a un método para operar un secador como se define en la reivindicación 10.

Se divulgan realizaciones preferidas adicionales en las reivindicaciones dependientes.

Los objetos y ventajas adicionales de la presente divulgación se expondrán en parte en la descripción que sigue, y en parte serán obvios a partir de la descripción, o pueden aprenderse mediante la práctica de la presente divulgación. Los objetos y ventajas de la presente divulgación se realizarán y alcanzarán por medio de los elementos y combinaciones particularmente señalados en las reivindicaciones adjuntas.

Debe entenderse que tanto la descripción general anterior como la siguiente descripción detallada son solo a manera de ejemplo y explicativas y no son restrictivas de la presente divulgación como se reivindica.

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

La FIG. 1 es un diagrama de flujo esquemático de un sistema para producir, comprimir y secar hidrógeno para almacenamiento.

La FIG. 2 es un diagrama de flujo esquemático de un sistema para producir, comprimir y secar hidrógeno para almacenamiento, de acuerdo con una realización a manera de ejemplo.

La FIG. 3 es un diagrama de flujo esquemático de un sistema para producir, comprimir y secar hidrógeno para almacenamiento, de acuerdo con una realización a manera de ejemplo.

La FIG. 4 es un diagrama de flujo esquemático de un sistema para producir, comprimir y secar hidrógeno para almacenamiento, de acuerdo con una realización a manera de ejemplo.

La FIG. 5 es un diagrama de flujo que ilustra un método divulgado a manera de ejemplo para operar el sistema de potencia de las FIGS. 2-4.

Ahora se hará referencia en detalle a las presentes realizaciones a manera de ejemplo de la presente divulgación, y ejemplos de los cuales se ilustran en los dibujos adjuntos. Siempre que sea posible, se utilizarán los mismos números de referencia en todos los dibujos para referirse a las mismas partes o partes similares.

La presente divulgación se describe aquí con referencia a una realización ilustrativa para una aplicación particular, tal como, por ejemplo, producir, comprimir y secar hidrógeno. Se entiende que las realizaciones descritas aquí no están limitadas a las mismas. Aquellos que tengan una habilidad ordinaria en la técnica y acceso a las enseñanzas proporcionadas aquí reconocerán modificaciones adicionales, aplicaciones, realizaciones y sustitución de equivalentes que caen todos dentro del alcance de la presente divulgación. En consecuencia, la presente divulgación no está limitada por las descripciones anteriores o siguientes.

La FIG. 2 ilustra un sistema 200 de procesamiento de hidrógeno, para producir, purificar, comprimir y secar hidrógeno para almacenamiento y dispensación presurizados. El sistema 200 incluye un reformador 210, un absorbedor 220, un humidificador 230, un EHC 240, un secador 250 que tiene un primer lecho 251 y un segundo

lecho 252, y un dispensador 260 de almacenamiento. El sistema 200 como se ilustra en la FIG. 2 puede estar en funcionamiento, en el que el primer lecho 251 puede estar en línea en modo de producción y el segundo lecho 252 puede estar en espera.

El reformador 210 puede ser un reformador con vapor configurado para hacer reaccionar vapor a alta temperatura (por ejemplo, 700 a 1100°C) con un combustible fósil (por ejemplo, gas natural, metanol, etc.). El vapor a alta temperatura, en presencia de un catalizador con base en metal (por ejemplo, níquel), reacciona con combustible fósil (por ejemplo, metano) y produce gas de síntesis (es decir, monóxido de carbono e hidrógeno). El reformador 210 está configurado para recibir un combustible 211 fósil y mediante reformado con vapor produce una corriente 221 de gas de síntesis.

El corriente 221 de gas de síntesis, que puede contener hidrógeno, dióxido de carbono y, a menudo, monóxido de carbono, puede dirigirse al absorbedor 220. El absorbedor 220 está configurado para recibir la corriente 221 de gas de síntesis y purificar sustancialmente el hidrógeno dentro de la corriente separando el monóxido de carbono y el dióxido de carbono, produciendo una corriente 231 de hidrógeno concentrado. Esta separación puede hacerse mediante el proceso de adsorción por oscilación de presión (PSA) por un absorbedor por oscilación de presión. El absorbedor 220 puede tener uno o más lechos absorbentes que contienen una masa de adsorbente, que discrimina entre diferentes gases de modo que el monóxido de carbono y el dióxido de carbono tengan una mayor atracción hacia el absorbente que el hidrógeno. El absorbente puede ser, por ejemplo, carbón activado, gel de sílice, alúmina, zeolita o una especie de los mismos.

El corriente 231 de hidrógeno concentrado se dirige al humidificador 230. El humidificador 230 puede configurarse para agregar vapor de agua a la corriente 231 de hidrógeno concentrado, produciendo una primera corriente 241 de hidrógeno humidificado. El humidificador 230 puede configurarse para controlar el nivel de humedad de la primera corriente 241 de hidrógeno humidificado a un nivel predeterminado.

La primera salida de corriente 241 de hidrógeno humidificado del humidificador 230 se dirige al EHC 240. Como se describe aquí, es ventajoso humidificar la membrana de un EHC. En consecuencia, la primera corriente 241 de hidrógeno humidificado puede configurarse para regular la humedad de la membrana de modo que la conductividad eléctrica de la membrana pueda mantenerse a un nivel óptimo. Dentro del EHC 240, la primera corriente 241 de hidrógeno humidificado se comprime para producir una corriente 242 de hidrógeno humidificado presurizado. EHC 240 puede ser un compresor de etapa única o de etapas múltiples. EHC 240 puede configurarse para presurizar la primera corriente 241 de hidrógeno humidificado hasta alta presión. Por ejemplo, la corriente 242 de hidrógeno humidificado presurizado puede presurizarse hasta una presión de más de aproximadamente 500 psi, 1000 psi, 2500 psi, 5000 psi, 7500 psi, 10000 psi, 12500 psi o 15000 psi.

La salida de corriente 242 de hidrógeno humidificado presurizado del EHC 240 se dirige al secador 250. La corriente 242 de hidrógeno humidificado presurizado dentro del secador 250 se dirige a cualquier lecho (es decir, el primer lecho 251 o el segundo lecho 252) que puede estar en línea en modo de producción. De acuerdo con la realización a manera de ejemplo ilustrada en la FIG. 2, el primer lecho 251 está en línea en modo de producción. Para cualquiera de los lechos, el modo de producción se define como el modo durante el cual la corriente 242 de hidrógeno humidificado presurizado se suministra al lecho permitiendo que al menos una porción del vapor de agua de la corriente 242 de hidrógeno humidificado presurizado se adsorba, produciendo así una corriente 261 de producto de hidrógeno. Aunque no se muestra en la FIG. 2, alternativamente, el sistema 200 puede configurarse de modo que el segundo lecho 252 pueda estar en línea en modo de producción y el primer lecho 251 puede estar fuera de línea, en cuyo caso la corriente 242 de hidrógeno humidificado presurizado se dirige al segundo lecho 252.

El primer lecho 251 y el segundo lecho 252 pueden comprender cada uno una masa de absorbente configurada para discriminar entre diferentes gases de modo que el vapor de agua tenga una mayor atracción al absorbente que el hidrógeno. El absorbente puede ser, por ejemplo, carbón activado, alúmina, zeolita o una especie de los mismos. El primer lecho 251 y el segundo lecho 252 pueden configurarse para realizar una variedad de diferentes procesos de separación por absorción. Por ejemplo, el primer lecho 251 y el segundo lecho 252 pueden utilizar el proceso de absorción por oscilación de presión u otro proceso similar.

El secador 250 está configurado de manera tal que dentro del primer lecho 251 o del segundo lecho 252 (es decir, el que esté en modo de producción) el vapor de agua dentro de la corriente 242 de hidrógeno humidificado presurizado puede ser adsorbido por el adsorbente mientras el hidrógeno presurizado fluye hacia afuera de secador 250 que forma la corriente 261 de producto de hidrógeno. La corriente 261 de producto de hidrógeno se dirige al dispensador 260 de almacenamiento. El dispensador 260 de almacenamiento puede ser cualquier recipiente de almacenamiento adecuado configurado para contener hidrógeno presurizado. El dispensador 260 de almacenamiento puede ser un recipiente estacionario o móvil (por ejemplo, un camión cisterna con remolque). El dispensador 260 de almacenamiento también puede configurarse para dispensar el producto de hidrógeno 261.

Durante la operación, el absorbente en cualquier lecho que esté en línea (es decir, el primer lecho 251 o el segundo lecho 252) puede saturarse. La saturación puede ocurrir cuando el lecho alcanza un punto de ruptura (es decir, un ligero aumento de humedad) y si la operación continúa puede llegar a alcanzar una saturación completa (es decir, la corriente de alimentación y el vapor del producto tienen el mismo nivel de humedad). El punto de ruptura puede ser

cuando el absorbente ya no puede absorber esencialmente todo el vapor de agua en la corriente 242 de hidrógeno humidificado presurizado y, como resultado, queda algo de vapor de agua en la corriente y se lleva a cabo en la corriente 261 de producto de hidrógeno. El punto de saturación puede ser cuando la operación continúa más allá del punto de ruptura y el absorbente alcanza una saturación completa, de modo que no se separa el vapor de agua y, por lo tanto, el nivel de humedad de la corriente 242 de hidrógeno humidificado presurizado es esencialmente el mismo que la corriente 261 de producto de hidrógeno.

En funcionamiento, el sistema 200 puede configurarse de modo que cualquier lecho que esté en línea en modo de producción (es decir, el primer lecho 251 o el segundo lecho 252) pueda desconectarse con base en el alcance del agotamiento. Por ejemplo, el lecho en línea se puede desconectar antes de alcanzar el punto de ruptura, al alcanzar el punto de ruptura, después de alcanzar el punto de ruptura, antes de alcanzar el punto de saturación o al alcanzar el punto de saturación. El sistema 200 puede configurarse para operación continua. Por lo tanto, cuando un lecho se desconecta y se conmuta del modo de producción, el otro lecho se puede poner en línea y conmutar a producción. Para evitar picos de presión o interrupción del flujo, durante la transición, ambos lechos (es decir, el primer lecho 251 y el segundo lecho 252) pueden ponerse en línea durante un período de tiempo antes de que el lecho se ponga en línea. Por ejemplo, como se muestra en la FIG. 2, si el primer lecho 251 alcanza el punto de conmutación de agotamiento, entonces el segundo lecho 252 puede ponerse en línea y conmutarse al modo de producción y una vez que la presión y el flujo se estabilizan, entonces el primer lecho 251 puede conmutarse del modo de producción y desconectarse.

Una vez que el primer lecho 251 se conmuta del modo de producción y se desconecta, el sistema 200 conmuta el primer lecho 251 al modo de regeneración, como se muestra en la FIG. 3. El modo de regeneración se define como el modo durante el cual el lecho agotado (por ejemplo, el primer lecho 251 o el segundo lecho 252) se regenera eliminando las impurezas (por ejemplo, vapor de agua) que han sido absorbidas por la masa de absorbente. Como se discute aquí, el método tradicional de regenerar el primer lecho 251 consistía en despresurizar el lecho y luego purgar (por ejemplo, soplar) el lecho para eliminar el vapor de agua usando una corriente 161 de producto de hidrógeno, como se muestra en la FIG. 1. Sin embargo, el uso de la corriente 161 de producto de hidrógeno disminuye el rendimiento general y disminuye la eficiencia energética del sistema y el proceso.

En consideración de estos inconvenientes, el sistema 200 está configurado de tal manera que el modo de regeneración comprende soplar el lecho agotado (es decir, el primer lecho 251 como se muestra en la FIG. 3) usando una porción o la totalidad de la corriente 231 de hidrógeno concentrado, como se muestra en la FIG. 3. La corriente 231 de hidrógeno concentrado puede dividirse y dirigirse tanto al humidificador 230 como al primer lecho 251 o la corriente 231 de hidrógeno concentrado puede dirigirse completamente al humidificador 230 o completamente al secador 250 (por ejemplo, primer lecho 251 o segundo lecho 252). Por ejemplo, la corriente 231 de hidrógeno concentrado dirigida al primer lecho 251 puede configurarse para entrar en la salida del primer lecho 251 de modo que la corriente 231 de hidrógeno concentrado fluya en contracorriente al flujo de hidrógeno 242 humidificado presurizado a través del primer lecho 251. Antes de soplar, el primer lecho 251 puede despresurizarse por sí solo. Durante la despresurización, la corriente 231 de hidrógeno concentrado puede aislarse totalmente usando válvulas en línea o puede dirigirse completamente al humidificador 230. Después de la despresurización, la corriente 231 de hidrógeno concentrado puede soplar a través del primer lecho 251, purgando y recogiendo las partículas absorbidas (por ejemplo, vapor de agua) regenerando así la masa de absorbente mientras simultáneamente humidifica la corriente 231 de hidrógeno concentrado. Como resultado, la corriente 231 de hidrógeno concentrado soplada a través del primer lecho 251 puede transformarse en una segunda corriente 243 de hidrógeno modificado. El rendimiento de regeneración que usa la corriente 231 de hidrógeno concentrado puede ser igual o mejor que el rendimiento de regeneración que usa la corriente 161 de producto de hidrógeno. Por ejemplo, la humedad latente de la corriente 161 de producto de hidrógeno puede ser mayor que la de la corriente 231 de hidrógeno concentrado, por lo tanto, la corriente 231 puede proporcionar un mejor rendimiento de regeneración.

Como se muestra en la FIG. 3, la segunda corriente 243 de hidrógeno modificado puede dirigirse al humidificador 230 donde se puede introducir agua adicional (por ejemplo, agua DI) y/o puede combinarse con la primera corriente 241 de hidrógeno humidificado para formar una corriente 244 de hidrógeno humidificado combinada y ser dirigido a EHC 240. De acuerdo con algunas realizaciones, cuando toda la corriente 231 de hidrógeno concentrado se dirige al secador 250 para la regeneración, la segunda corriente 243 de hidrógeno modificado dirigida al humidificador 230 puede producir toda la corriente 244 de hidrógeno humidificado. El sistema 200 como se describe aquí permite la recirculación del vapor de agua capturado por el secador 250 de vuelta al EHC 240. Al reciclar el vapor de agua, se usa menos agua durante la operación del sistema 200. Aunque no se muestra en la FIG. 3, en otras realizaciones, una porción de la segunda corriente 243 de hidrógeno modificado se puede suministrar a un quemador, descarga o pila.

El sistema 200 puede configurarse de modo que después de la regeneración del primer lecho 251, el primer lecho 251 pueda conmutarse a un modo de espera. El primer lecho 251 puede permanecer en modo de espera hasta que el segundo lecho 252 se agote, momento en el que el primer lecho 251 puede conmutarse al modo de producción.

Se contempla que, en otras realizaciones, el secador 250 puede tener más lechos que solo el primer lecho 251 y el segundo lecho 252. El secador 250 puede tener una pluralidad de lechos, por ejemplo, tres lechos, cuatro lechos, cinco lechos o más. Realizaciones donde el secador 250 tiene más de dos lechos, el secador 250 puede

configurarse de modo que pueda variar la combinación de lechos en línea en modo de producción y fuera de línea en modo de espera o regeneración. Por ejemplo, en el que el secador 250 tiene tres lechos, dos lechos pueden estar en línea en modo de producción mientras que el otro lecho está fuera de línea en modo de regeneración o modo de espera. Alternativamente, el secador 250 que tiene tres lechos podría estar funcionando de modo que solo un lecho esté en línea en modo de producción mientras que los otros lechos estén fuera de línea en modo de regeneración o en modo de espera. El número de lechos en línea en el modo de producción puede variar con base en la rata de flujo deseada para la corriente 261 de producto de hidrógeno.

También se contempla que el secador 250 y el sistema 200 se puedan configurar de modo que los múltiples lechos puedan estar en modo de producción simultáneamente. Por ejemplo, se pueden poner lechos adicionales en modo de producción en respuesta a un aumento en la rata de flujo de la corriente 242 de hidrógeno.

Se contempla que en otras realizaciones la corriente 231 de hidrógeno concentrado puede producirse o suministrarse por medios alternativos, que pueden permitir la eliminación del reformador 210 y el absorbedor 220. Por ejemplo, la corriente 231 de hidrógeno seca puede generarse por electrólisis, etc.

El sistema 200 puede incluir además una pluralidad de instrumentos (por ejemplo, transmisores de temperatura, transmisores de presión, transmisores de humedad, medidores de flujo y similares), una pluralidad de bombas (por ejemplo, bombas centrífugas, bombas de lóbulo giratorio, bombas de diafragma, y similares), y una pluralidad de válvulas (por ejemplo, válvulas de bola, válvulas de mariposa, válvulas de control, válvulas de alivio de presión y similares). La pluralidad de instrumentos, bombas y válvulas se pueden utilizar para controlar la rata de flujo, la temperatura, la concentración y la ubicación de las diversas corrientes. El sistema 200 puede incluir además un sistema de control configurado para interactuar con la pluralidad de instrumentos, la pluralidad de válvulas y la pluralidad de bombas. El sistema de control puede incluir un ordenador, PLC o similares que se puede programar para controlar el sistema 200 de forma manual, de forma automática o una combinación de ambos.

Por ejemplo, el sistema 200 como se muestra en la FIG. 4 puede incluir un controlador 400 y un transmisor 401 de humedad. El transmisor 401 de humedad puede configurarse para detectar el nivel de humedad de la segunda corriente 243 de hidrógeno modificado, que puede variar dependiendo de numerosos factores (por ejemplo, rata de flujo de la corriente 243 de hidrógeno, nivel de agotamiento del primer lecho 251, y el punto del modo de regeneración). La variabilidad de la segunda corriente 243 de hidrógeno modificado puede causar variabilidad en la cantidad de agua que se puede agregar a la segunda corriente 243 de hidrógeno modificado. Para limitar la variabilidad, el controlador 400 puede configurarse para recibir el nivel de humedad de la corriente 243 de hidrógeno y luego controlar el humidificador 230, de modo que las características (es decir, rata de flujo, presión, nivel de humedad, etc.) de la corriente 244 de hidrógeno combinada permanezcan sustancialmente iguales. El sistema 200 puede comprender además uno o más medidores de flujo (no mostrados) en comunicación con el controlador 400, configurado para detectar la rata de flujo de, por ejemplo, la corriente 243 de hidrógeno, de modo que el controlador 400 puede configurarse para realizar cálculos de balance de masa para optimizar aún más la mezcla de las dos corrientes de hidrógeno y minimizar las fluctuaciones no intencionadas en la corriente 244 de hidrógeno humidificado combinada.

La FIG. 5 ilustra un proceso de sistema a manera de ejemplo realizado por el sistema 200. El sistema divulgado puede ser aplicable a otras aplicaciones de procesamiento de fluidos además del procesamiento de hidrógeno como se describe aquí. El sistema divulgado como se describe aquí puede permitir un mayor rendimiento y eficiencia energética, así como un mayor reciclaje de agua. El funcionamiento del sistema se explicará ahora con referencia a la FIG. 5 5

El sistema 200 puede funcionar humidificando la corriente 231 de hidrógeno concentrado para producir una primera corriente 241 de hidrógeno humidificado, en el paso 502. En el paso 504, el sistema 200 puede regenerar el primer lecho 251 usando una porción de la corriente 231 de hidrógeno concentrado, produciendo una segunda corriente 243 de hidrógeno modificado. En el paso 506, el sistema 200 puede presurizar la primera corriente 241 de hidrógeno humidificado y la segunda corriente 243 de hidrógeno modificado para producir una corriente 242 de hidrógeno humidificado presurizado. El sistema 200 en la etapa 508 puede secar la corriente de hidrógeno humidificado presurizado en el segundo lecho 252, produciendo la corriente 261 de producto de hidrógeno.

Será evidente para los expertos en la técnica que se pueden realizar diversas modificaciones y variaciones al sistema y método divulgados. Otras realizaciones serán evidentes para los expertos en la técnica a partir de la consideración de la especificación y la práctica de los sistemas y métodos a manera de ejemplo divulgados.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema para comprimir hidrógeno, que comprende:

un humidificador (230) configurado para recibir y humidificar una corriente (231) de hidrógeno y producir una primera corriente (241) de hidrógeno humidificado;

un compresor (240) de hidrógeno electroquímico configurado para recibir y comprimir la primera corriente (241) de hidrógeno humidificado, y producir una corriente (242) de hidrógeno humidificado presurizado; y

un secador (250) que incluye un primer lecho (251) configurado para:

en modo de producción recibir la corriente (242) de hidrógeno humidificado presurizado, absorber al menos una porción de la humedad y producir una corriente (261) de producto de hidrógeno;

en el que la corriente (231) de hidrógeno es una corriente de hidrógeno concentrado que se puede obtener mediante la eliminación de monóxido de carbono y dióxido de carbono del gas (221) de síntesis; y caracterizada porque el primer lecho (251) está configurado para, en modo de regeneración, recibir una porción de la corriente (231) de hidrógeno concentrado para regenerar el primer lecho que produce una segunda corriente (243) de hidrógeno humidificado.

2. El sistema de la reivindicación 1, en el que el segundo hidrógeno (243) humidificado se suministra al compresor (240) mientras el secador (250) está en modo de regeneración.

3. El sistema de la reivindicación 2, en el que el secador (250) incluye además un segundo lecho (252) que está configurado para:

en modo de producción, recibir la corriente (242) de hidrógeno humidificado presurizado y adsorba al menos una porción de la humedad, que produce una corriente (261) de producto de hidrógeno; y

en el modo de regeneración, recibir una porción de la corriente (231) de hidrógeno concentrado para regenerar el segundo lecho (252) produciendo una segunda corriente de hidrógeno humidificado, y suministrar la segunda corriente de hidrógeno humidificado al compresor (240).

4. El sistema de la reivindicación 3, en el que el segundo lecho (252) está configurado para funcionar en modo de producción mientras que el primer lecho (251) funciona en modo de regeneración.

5. El sistema de la reivindicación 1, en el que el primer lecho (251) es un lecho de adsorción por oscilación de presión.

6. El sistema de la reivindicación 1, que comprende, además:

un reformador (210) de vapor configurado para procesar un combustible (211) fósil para producir una corriente (221) de gas de síntesis;

una unidad (220) de adsorción por oscilación de presión de ciclo rápido configurada para recibir la corriente (221) de gas de síntesis y purificar la corriente de gas de síntesis para producir la corriente (231) de hidrógeno concentrado.

7. El sistema de la reivindicación 3, en el que el sistema está configurado de tal manera que el primer lecho (251) o el segundo lecho (252) está en modo de producción mientras el sistema está en funcionamiento .

8. El sistema de la reivindicación 1, en el que la primera corriente (241) de hidrógeno humidificado y la segunda corriente (243) de hidrógeno humidificado se combinan para formar una corriente (244) de hidrógeno humidificado combinada antes de entrar en el compresor (240) y un controlador (400) está configurado para controlar la humedad de la corriente (244) de hidrógeno humidificado combinada controlando el humidificador (230).

9. El sistema de la reivindicación 1, en el que la humedad de la corriente (231) de hidrógeno concentrado es menor que la humedad de la corriente (261) de producto de hidrógeno.

10. Un método para operar un secador, en el que el secador tiene un primer lecho y un segundo lecho, donde el método comprende:

humidificar una corriente de hidrógeno concentrado para producir una primera corriente (502) de hidrógeno humidificado;

regenerar el primer lecho usando una porción de la corriente de hidrógeno concentrado, que produce una segunda corriente (504) de hidrógeno humidificado; y

presurizar la primera corriente de hidrógeno humidificado y la segunda corriente de hidrógeno humidificado para producir una corriente (506) de hidrógeno humidificado presurizado;

donde el método se caracteriza por el secado de la corriente de hidrógeno humidificado presurizado en un segundo lecho que produce una corriente (508) de hidrógeno de producto; y

porque la primera corriente de hidrógeno humidificado y las segundas corrientes de hidrógeno humidificado se presurizan usando un compresor electroquímico.

11. El método de la reivindicación 10, donde al secar la corriente (508) de hidrógeno humidificado presurizado se incluye la realización de una adsorción por oscilación de presión.

12. El método de la reivindicación 10, que comprende, además:

reformar con vapor un combustible fósil para producir una corriente de gas de síntesis; y

usar la adsorción por oscilación de presión de ciclo rápido para purificar la corriente de gas de síntesis para producir la corriente de hidrógeno concentrado.

13. El método de la reivindicación 10, que comprende además conmutar el secado del segundo lecho al primer lecho cuando el primer lecho alcanza un punto de agotamiento y comenzar la regeneración del segundo lecho.

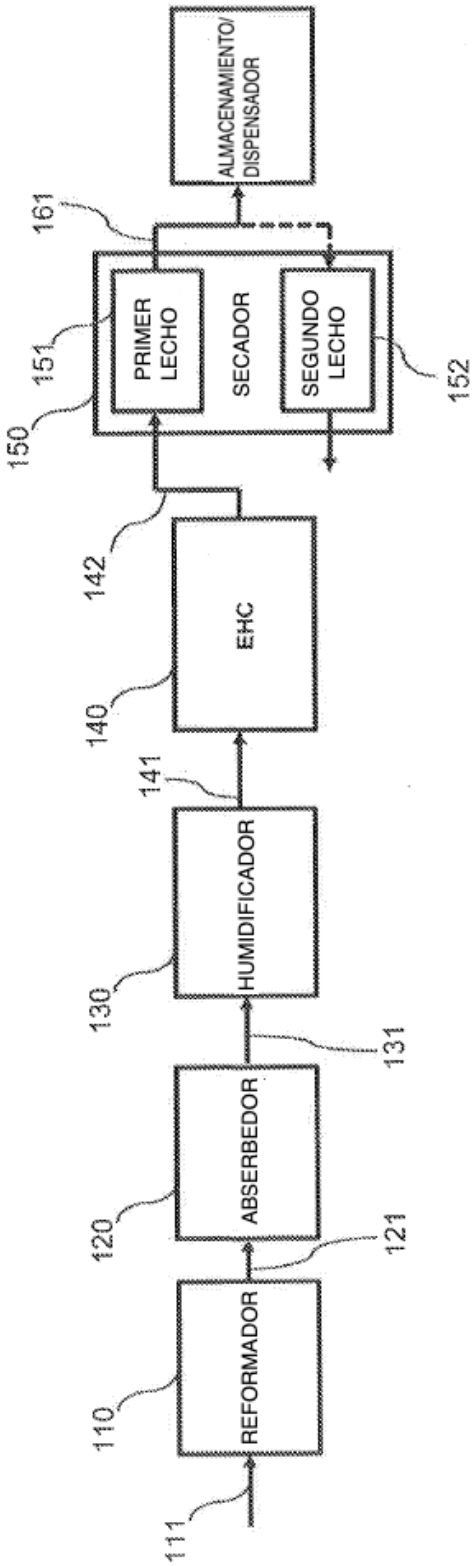
111
REFORMADOR
110
121
ABSERBEDOR
120
131
HUMIDIFICADOR
130
141
EHC
140
142
150
PRIMER LECHO
151
SECADOR
SEGUNDO LECHO
152
161
ALMACENAMIENTO/ DISPENSADOR

FIG. 1

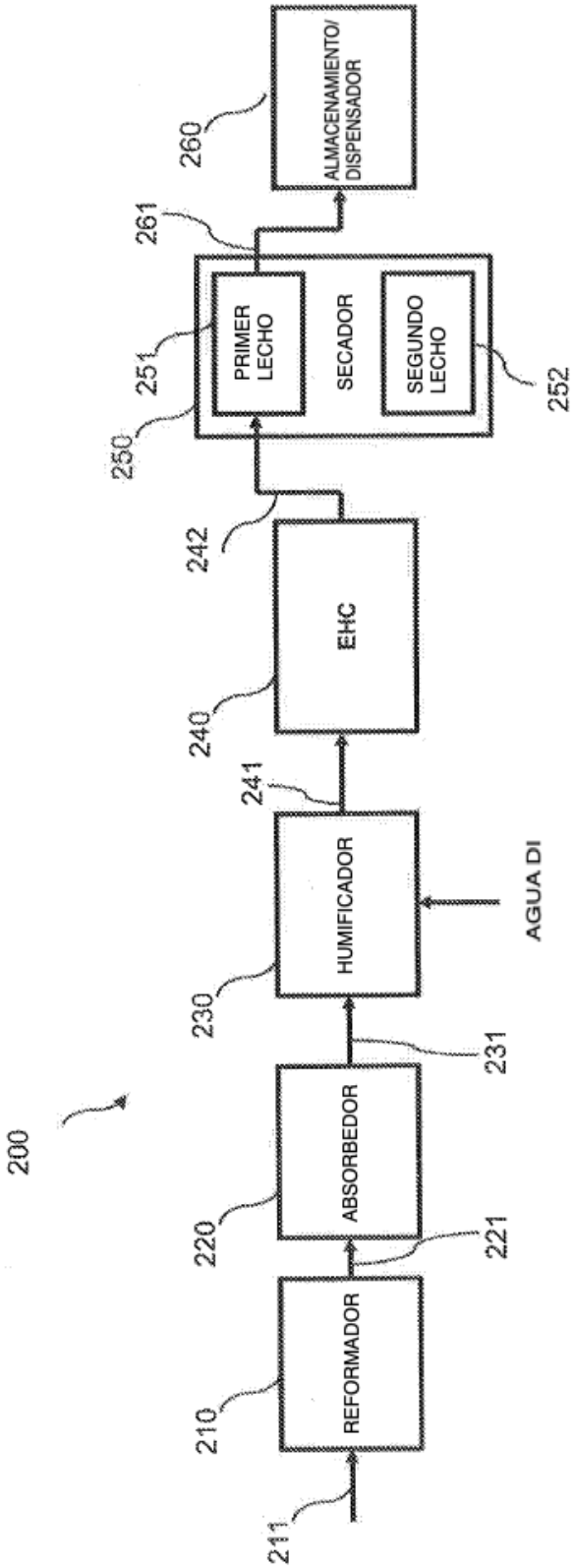
200
211
REFORMADOR
210
221
ABSORBEDOR
220
231
HUMIFICADOR
230
AGUA DI
241
EHC
240
242
250
PRIMER LECHO
251
SECADOR
SEGUNDO LECHO
252
261
ALMACENAMIENTO/ DISPENSADOR
260

FIG. 2

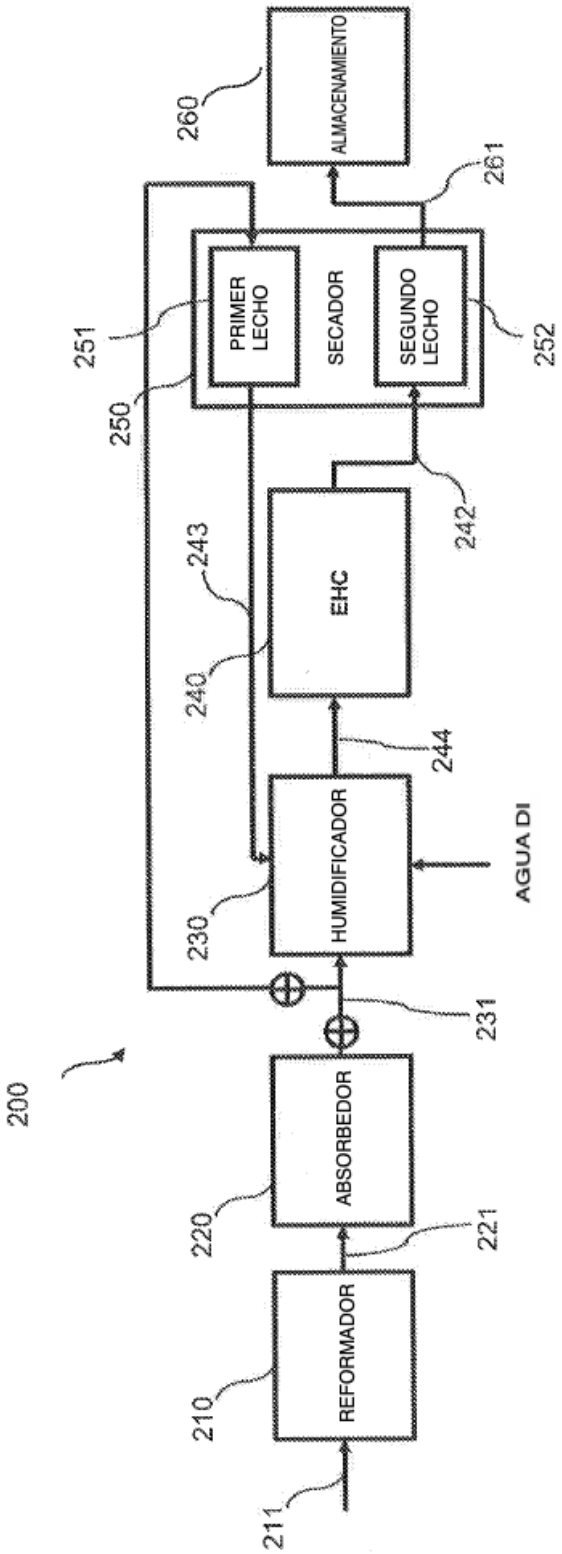
200
211
210
REFORMADOR
220
ABSORBEDOR
221
231
230
HUMIDIFICADOR
AGUA DI
244
240
EHC
243
242
250
251
PRIMER LECHO
SECADOR
SEGUNDO LECHO
252
261
260
ALMACENAMIENTO

FIG. 3

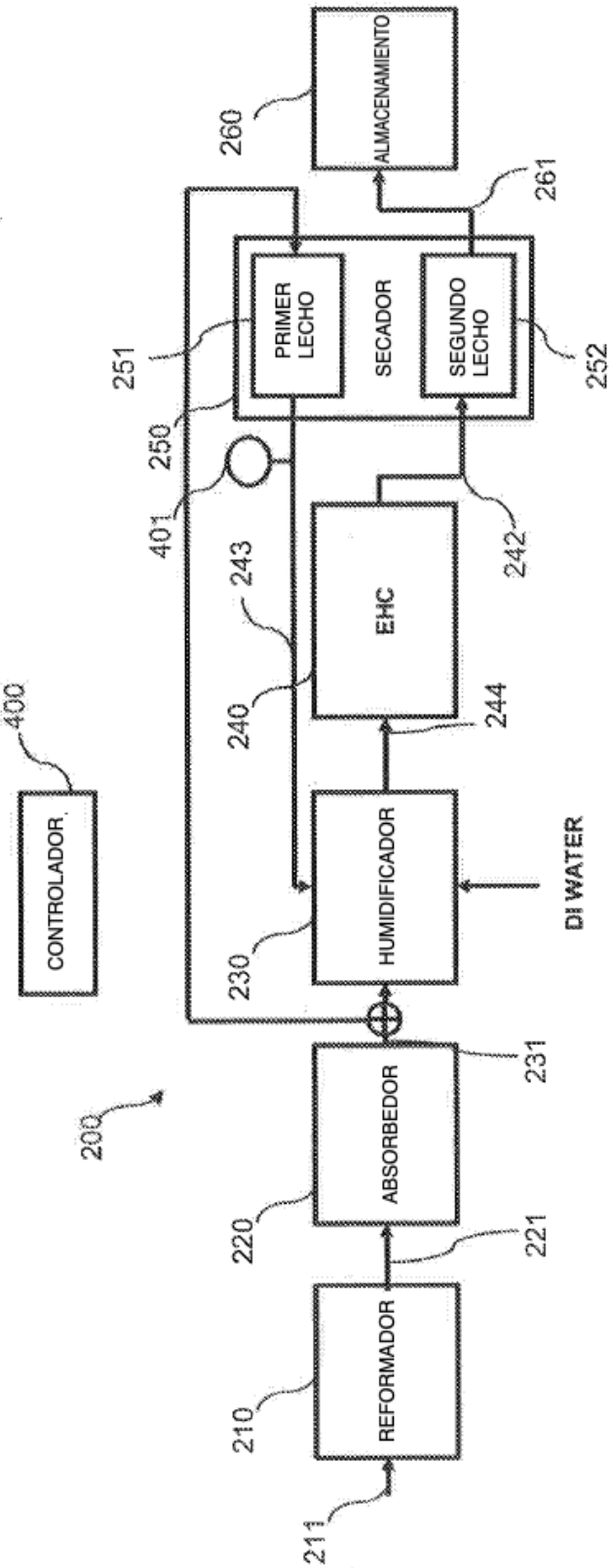
CONTROLADOR
400
200
REFORMADOR
210
211
ABSORBEDOR
220
221
HUMIDIFICADOR
230
231
DI WATER
EHC
240
243
244
242
401
250
251
PRIMER LECHO
SECADOR
SEGUNDO LECHO
252
261
ALMACENAMIENTO
260

FIG. 4

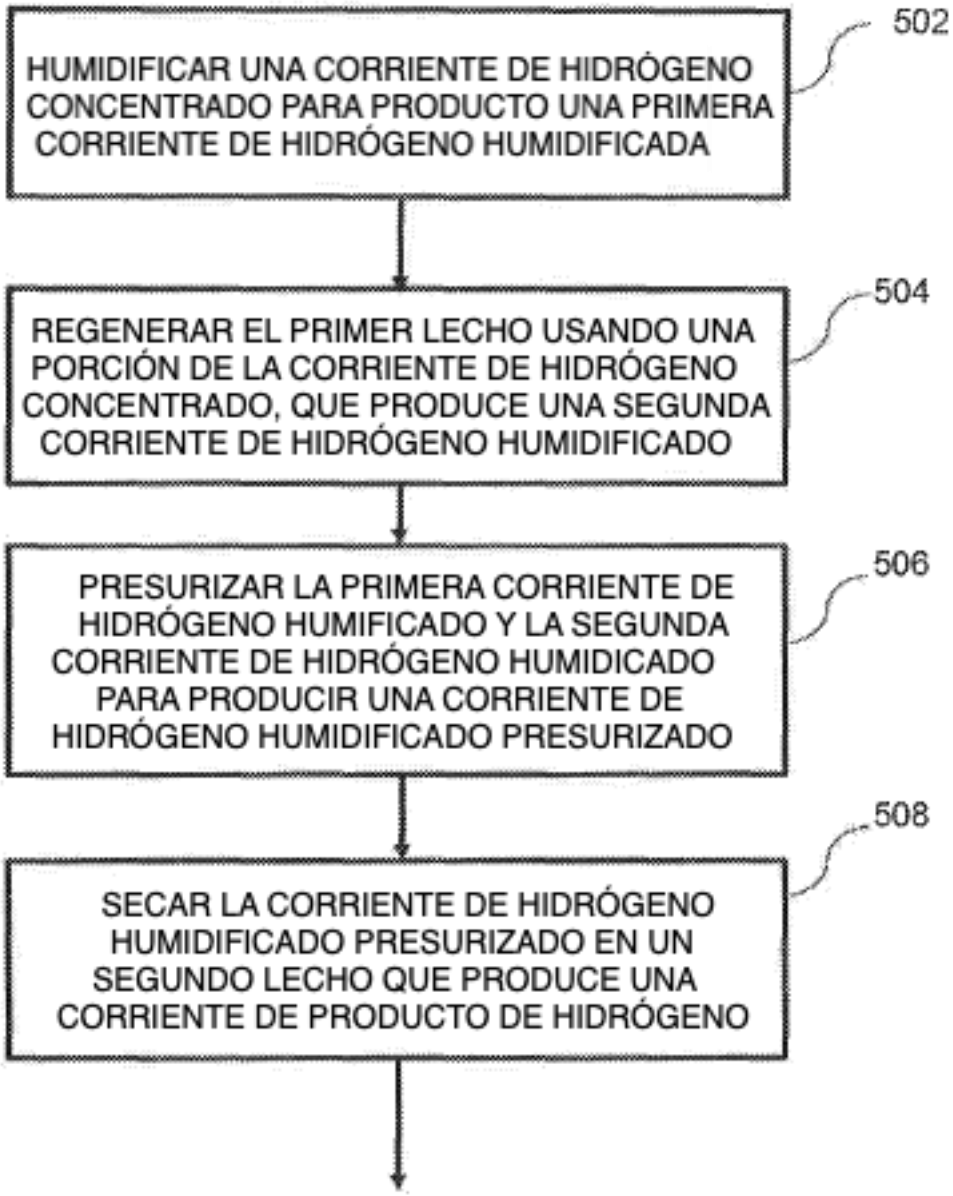
502
HUMIDIFICAR UNA CORRIENTE DE HIDRÓGENO CONCENTRADO PARA PRODUCTO UNA PRIMERA CORRIENTE DE HIDRÓGENO HUMIDIFICADA
504
REGENERAR EL PRIMER LECHO USANDO UNA PORCIÓN DE LA CORRIENTE DE HIDRÓGENO CONCENTRADO, QUE PRODUCE UNA SEGUNDA CORRIENTE DE HIDRÓGENO HUMIDIFICADO
506
PRESURIZAR LA PRIMERA CORRIENTE DE HIDRÓGENO HUMIFICADO Y LA SEGUNDA CORRIENTE DE HIDRÓGENO HUMIDICADO PARA PRODUCIR UNA CORRIENTE DE HIDRÓGENO HUMIDIFICADO PRESURIZADO
508
SECAR LA CORRIENTE DE HIDRÓGENO HUMIDIFICADO PRESURIZADO EN UN SEGUNDO LECHO QUE PRODUCE UNA CORRIENTE DE PRODUCTO DE HIDRÓGENO

FIG. 5