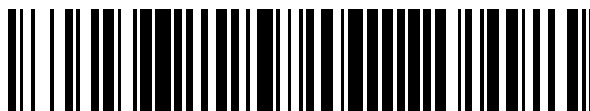


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 786 127**

51 Int. Cl.:

C01B 3/50 (2006.01)

C25B 9/08 (2006.01)

C25B 1/02 (2006.01)

C25B 15/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **30.09.2013 PCT/US2013/062646**

87 Fecha y número de publicación internacional: **31.12.2014 WO14209418**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **30.09.2013 E 13777389 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **15.04.2020 EP 3013741**

54 Título: **Método de monitoreo de la pureza de una mezcla de gas hidrógeno mediante el uso de una celda electroquímica**

30 Prioridad:

28.06.2013 US 201361840843 P

21.08.2013 US 201313972715

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

08.10.2020

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

BLANCHET, SCOTT

74 Agente/Representante:

SÁEZ MAESO, Ana

ES 2 786 127 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 monitoreo de la pureza de una mezcla de gas hidrógeno mediante el uso de una celda electroquímica

- 5 Las modalidades de la presente descripción se refieren a métodos de utilización de celdas electroquímicas para monitorear la pureza del gas hidrógeno.

10 El hidrógeno se ha convertido en una alternativa viable a las fuentes de energía tradicionales, tales como los combustibles fósiles, para una gama de tecnologías, que incluyen, por ejemplo, vehículos de transporte, suministros de energía portátiles y producción de energía estacionaria. La comercialización exitosa del hidrógeno como portador energético y la sostenibilidad a largo plazo de una "economía del hidrógeno" pueden depender en parte de la eficiencia y la rentabilidad de los sistemas de manipulación y gestión del hidrógeno (por ejemplo, EHC) y los sistemas de distribución de hidrógeno (por ejemplo, estaciones dispensadoras).

15 Los usuarios de gas hidrógeno pueden ser sensibles a los contaminantes potenciales que pueden existir en el gas, tales como CO, CO₂, N₂, He, Ar, O₂, CH₄, hidrocarburos superiores, S, Cl, Br, Hg, VOC, H₂O, HCHO, HCOOH, NH₃, compuestos halogenados y partículas, por ejemplo. En consecuencia, los consumidores pueden exigir a los proveedores que proporcionen gas hidrógeno purificado y, en algunas circunstancias, que cumplan o superen cierto umbral de pureza del gas hidrógeno suministrado. Los proveedores y distribuidores de gas hidrógeno generalmente garantizan la pureza
20 del hidrógeno suministrado mediante el análisis de la composición del gas hidrógeno antes del suministro, mediante el uso de, por ejemplo, dispositivos tales como cromatógrafos de gases, espectrómetros de masas, detectores de ionización y espectrómetros infrarrojos. En base a la medición analítica de la composición del gas registrada mediante el uso de tales dispositivos, los proveedores pueden proporcionar a los consumidores un certificado de análisis para estos u otros compuestos para el suministro de gas hidrógeno. Si bien tales métodos de análisis pueden ser útiles para el control de
25 calidad en las instalaciones centralizadas de producción de hidrógeno para garantizar la pureza del hidrógeno, tales métodos pueden ser prohibitivamente costosos para su uso en estaciones de servicio de hidrógeno o estaciones de transferencia de hidrógeno, por ejemplo. Sin embargo, existe la posibilidad de que el hidrógeno producido en una instalación centralizada se contamine durante el transporte hasta el punto de uso. En consecuencia, se necesita un método rentable para purificar el gas hidrógeno, monitorear la pureza del gas hidrógeno y garantizar un nivel umbral de
30 pureza del gas hidrógeno suministrado por un proveedor a un cliente. Además, puede ser necesario un control y monitoreo de calidad rentables para los sistemas de producción de hidrógeno, tales como los reformadores y electrolizadores de metano con vapor a partir de gas natural, por ejemplo. Las modalidades de la presente descripción pueden exponerse para resolver uno o más de los problemas anteriores.

35 El documento US 4620914 describe la purificación de hidrógeno en un conjunto que comprende electrodos de difusión de gases de ánodo y cátodo, un electrolito situado entre los electrodos, el primer y el segundo paso de gas adyacentes a los electrodos y medios para aplicar una tensión a través de los electrodos.

40 El documento US 2007/0246373 describe aparatos y métodos operativos para sistemas integrados de separación electroquímica del hidrógeno. En una posible modalidad, se aplica un potencial eléctrico entre un primer electrodo y un segundo electrodo de una celda electroquímica. El primer electrodo tiene un potencial eléctrico más alto con respecto a cero que el segundo electrodo. La corriente eléctrica se hace fluir a través de la celda a medida que el hidrógeno se ioniza en el primer electrodo y evoluciona en el segundo electrodo, es decir, "se bombea" a través de la celda. El flujo de salida de hidrógeno y la presión de la celda se pueden controlar mediante el ajuste del potencial y la corriente proporcionada
45 por la fuente de alimentación.

El documento US 2006/0054512 describe bombas de hidrógeno que incluyen un medio conductor de protones y un electrodo anódico permeable al hidrógeno no poroso y/o un electrodo catódico permeable al hidrógeno no poroso. Por ejemplo, los electrodos pueden ser una película metálica delgada y sólida tal como paladio o una aleación de paladio tal
50 como una aleación de paladio-cobre que permite la permeación de hidrógeno, pero no impurezas y, por lo tanto, purifica un suministro que contiene hidrógeno. El medio conductor de protones puede ser un medio conductor de protones anhidro sólido dispuesto entre el electrodo anódico y el electrodo catódico. El electrodo anódico y el electrodo catódico pueden sellarse directamente a al menos uno de los medios conductores de protones, un primer miembro para distribuir el suministro que contiene hidrógeno al electrodo anódico, un segundo miembro para recoger un suministro de hidrógeno
55 purificado y una junta dispuesta alrededor del medio conductor de protones.

El documento US 2011/0233072 describe un método para purificar una corriente de hidrógeno mediante el uso de una celda electroquímica que tiene una cubierta exterior cilíndrica eléctricamente conductora cerrada y una membrana polimérica hueca húmeda localizada dentro y paralela al eje longitudinal del miembro cilíndrico que proporciona un
60 compartimiento interior y un compartimiento exterior. Un electrodo que tiene un eje longitudinal se localiza dentro del compartimiento interior y está separado de la membrana polimérica hueca. Una entrada de gas para alimentar una corriente de hidrógeno que se va a purificar se comunica con el compartimiento interior y se proporciona una salida de gas para pasar gas hidrógeno purificado a través de la cubierta exterior cilíndrica. El electrodo dentro de la membrana polimérica húmeda hueca se conecta a un terminal del ánodo de un suministro de CC con un conductor eléctrico y la
65 cubierta externa del miembro de forma cilíndrica se conecta a un terminal de cátodo del suministro de CC con otro conductor eléctrico.

Los métodos para monitorear la pureza del gas hidrógeno se definen en las reivindicaciones.

Los objetos adicionales y las ventajas de las modalidades se expondrán en parte en la descripción que sigue, y en parte serán evidentes a partir de la descripción, o pueden aprenderse al llevar a la práctica las modalidades. Los objetos adicionales y las ventajas de las modalidades se comprenderán y conseguirán por medio de los elementos y combinaciones particularmente destacadas en las reivindicaciones adjuntas.

Se debe entender que la descripción general anterior y la siguiente descripción detallada son solamente ilustrativas y explicativas y no son restrictivas de la invención, como se reivindica.

Las figuras acompañantes, las cuales se incorporan y constituyen una parte de esta especificación y junto con la descripción, sirven para explicar los principios de esta descripción.

La Figura 1 ilustra una vista despiezada de una celda electroquímica ilustrativa, para usar en una modalidad de la presente descripción.

La Figura 2A ilustra un método de purificación.

La Figura 2B ilustra otro método de purificación.

La Figura 3A ilustra un método para monitorear la pureza del gas hidrógeno, de acuerdo con una modalidad de la presente descripción.

La Figura 3B ilustra otro método para monitorear la pureza del gas hidrógeno.

La Figura 4 ilustra otro método para monitorear la pureza de una cantidad de gas hidrógeno.

La Figura 5 ilustra un diagrama de flujo que representa esquemáticamente un método de purificación o monitoreo.

Ahora se hará referencia en detalle a las modalidades ilustrativas de la presente descripción descrita a continuación e ilustrada en los dibujos adjuntos. Donde quiera que sea posible, los mismos números de referencia se usarán en todos los dibujos para referirse a las mismas partes o partes similares.

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

Las celdas electroquímicas, son dispositivos típicamente usados para generar corriente a partir de las reacciones químicas, o inducir una reacción química mediante el uso de un flujo de corriente. Una celda de combustible convierte la energía química de un combustible (por ejemplo, hidrógeno, gas natural, metanol, gasolina, etc.) y un oxidante (por ejemplo, aire u oxígeno) en electricidad y produce calor y agua. Una celda electroquímica básica comprende un ánodo negativamente cargado, un cátodo positivamente cargado, y un material conductor de iones llamado un electrolito.

Una celda de electrólisis es esencialmente una celda de combustible que funciona al revés. Una celda de electrólisis básica puede funcionar como un generador de hidrógeno al descomponer el agua en gases de hidrógeno y oxígeno cuando se aplica un potencial eléctrico externo. La tecnología básica de una celda de combustible de hidrógeno o una celda de electrólisis puede aplicarse a la manipulación electroquímica del hidrógeno, tal como, compresión electroquímica de hidrógeno, purificación, o expansión.

Un compresor electroquímico de hidrógeno (EHC), por ejemplo, puede usarse para transferir selectivamente hidrógeno de un lado de una celda a otro. Los EHC que funcionan de esta manera a veces se denominan bombas electroquímicas de hidrógeno (EHP), y los términos EHP y EHC pueden usarse indistintamente para los fines de esta descripción. Cuando el hidrógeno acumulado en el segundo electrodo está restringido a un espacio confinado, la celda electroquímica comprime el hidrógeno o eleva la presión dentro del espacio confinado. La presión máxima o régimen de flujo que una celda individual es capaz de producir se puede limitar en base al diseño de la celda. En algunas modalidades, los EHC adecuados pueden operar a presiones más altas, por ejemplo, por encima de aproximadamente 2000 psi (13,79 MPa), por encima de aproximadamente 5000 psi (34,47 MPa), o por encima de aproximadamente 10 000 psi (68,95 MPa).

En una modalidad ilustrativa, un método para monitorear y garantizar la pureza del hidrógeno puede incluir el uso de un EHP o un EHC. Como se describió anteriormente, estos dispositivos emplean una membrana conductora de protones como parte de las celdas electroquímicas, y la membrana puede permitir que solo pasen protones (es decir, iones de hidrógeno) y agua. Al permitir que solo pasen los iones de hidrógeno y el agua, se puede evitar físicamente que otros compuestos pasen a través de la membrana. En consecuencia, los proveedores de gas hidrógeno pueden usar esta tecnología para eliminar contaminantes del gas hidrógeno, monitorear la presencia de contaminantes en el gas hidrógeno y, por lo tanto, garantizar un cierto nivel de pureza del gas hidrógeno suministrado al consumidor. Como se usa en la

presente descripción, "gas hidrógeno" puede incluir hidrógeno que cumpla un umbral predeterminado de pureza (gas hidrógeno purificado), gas hidrógeno mezclado con una cantidad de impurezas, o gas hidrógeno sospechoso o potencialmente mezclado con una cantidad de impurezas. Además, la "mezcla de gas hidrógeno" puede incluir gas hidrógeno mezclado con una cantidad de impurezas, o gas hidrógeno sospechoso o potencialmente mezclado con una cantidad de impurezas. Los "contaminantes" pueden incluir cualquier gas, líquido o sólido que no sea hidrógeno.

La Figura 1 representa una vista lateral despiezada de una celda electroquímica 100. La celda electroquímica 100 incluye un ánodo 110, un cátodo 120 y una membrana electrolítica 130 dispuesta entre el ánodo 110 y el cátodo 120. Juntas, la membrana electrolítica 130, el ánodo 110 y el cátodo 120 pueden formar un conjunto de electrodos de membrana (MEA) 140.

La membrana electrolítica 130 puede aislar eléctricamente el ánodo 110 del cátodo 120. La membrana electrolítica 130 puede ser cualquier membrana adecuada, que incluya, por ejemplo, una membrana de intercambio de protones (PEM). La membrana electrolítica 130 puede formarse por una membrana de polímero puro o una membrana compuesta, que puede incluir, por ejemplo, sílice, heteropolíácidos, fosfatos metálicos en capas, fosfatos y fosfatos de circonio, incorporados en una matriz polimérica. La membrana electrolítica 130 puede ser permeable a los protones, pero puede no conducir electrones. El ánodo 110 y el cátodo 120 pueden incluir electrodos de carbono porosos que contengan un catalizador. El material catalizador, por ejemplo, platino o cualquier otro material adecuado, puede acelerar la reacción de oxígeno e hidrógeno.

La celda electroquímica 100 puede comprender además dos placas bipolares 150, 160. Las placas bipolares 150, 160 pueden actuar como placas de soporte, conductores, proporcionar etapas a las superficies de electrodo respectivas para el hidrógeno, y proporcionar etapas para la eliminación del hidrógeno comprimido. Las placas bipolares 150, 160 también pueden incluir canales de acceso para enfriar fluido (es decir, agua, glicol o mezcla de glicol de agua). Las placas bipolares pueden fabricarse de aluminio, acero, acero inoxidable, titanio, cobre, aleación de Ni-Cr, grafito o cualquier otro material eléctricamente conductor o combinación de materiales. Las placas bipolares 150, 160 pueden separar la celda electroquímica 100 de las celdas vecinas en una pila electroquímica (no se muestra). Por ejemplo, múltiples celdas electroquímicas 100 pueden unirse en serie para formar un EHC de múltiples etapas o apilarse en paralelo para formar un EHC de una sola etapa.

En funcionamiento, se puede suministrar gas hidrógeno al ánodo 110 a través de la placa bipolar 150. Se puede aplicar un potencial eléctrico entre el ánodo 110 y el cátodo 120, en donde el potencial en el ánodo 110 es mayor que el potencial en el cátodo 120. El hidrógeno en el ánodo 110 puede oxidarse, lo que hace que el hidrógeno se divida en electrones y protones. Los protones de hidrógeno luego pueden transportarse electroquímicamente o "bombearse" a través de la PEM 130 al cátodo 120, mientras que los electrones se redireccionan alrededor de la PEM 130. En el cátodo 120, los protones transportados y los electrones redireccionados se reducen para formar hidrógeno. A medida que se forma más y más hidrógeno en el cátodo 120, el hidrógeno puede comprimirse y presurizarse dentro de un espacio confinado.

Por lo tanto, como se describió anteriormente, un EHP o EHC puede emplear una membrana conductora de protones como parte de una celda electroquímica, que puede permitir que solo pasen iones de hidrógeno y agua. Se puede evitar físicamente que otros compuestos, por ejemplo, contaminantes, pasen a través de la membrana. En consecuencia, esta tecnología puede usarse para purificar hidrógeno. Igualmente, mediante el uso de la tecnología de celdas electroquímicas, los proveedores de hidrógeno pueden garantizar la pureza del gas hidrógeno suministrado, y los proveedores o consumidores pueden monitorear el suministro de gas hidrógeno para detectar contaminantes.

Puede usarse un EHP o EHC para purificar gas hidrógeno. Como se muestra en la Figura 2A, un proveedor de hidrógeno 210 puede generar una cantidad de gas hidrógeno, que puede contener uno o más contaminantes. El suministro de gas hidrógeno puede generarse, por ejemplo, mediante el uso de cualquier reformador de metano con vapor adecuado, reformador de hidrocarburos fósiles, reformador de hidrocarburos renovables, electrolizador, reformador de etanol, reformador de biomasa, gasificación de carbón, disociación del agua por energía nuclear, sistemas fotoelectroquímicos, sistemas fotobiológicos, o sistemas termoquímicos solares. En algunos casos, el proveedor 210 ya puede tener una cantidad de gas hidrógeno o líquido de hidrógeno contenido en cualquier contenedor adecuado, por ejemplo, un tubo, tanque, tubería o botella, y este hidrógeno puede tener una mezcla desconocida, sospechosa o conocida de contaminantes.

Para garantizar la pureza del gas hidrógeno suministrado a un consumidor, la mezcla de gas hidrógeno y contaminantes potenciales se puede pasar a través de un EHP 220, etapa 211. La mezcla de gas puede pasar a través de un EHP 220 en cualquier punto después de la producción, por ejemplo, inmediatamente después de la producción o después de un período de tiempo de almacenamiento. Como se describió anteriormente, el EHP 220 incluye una membrana electrolítica y se configura para permitir que solo pasen protones, es decir, iones de hidrógeno y moléculas de agua. En consecuencia, solo se permitirá el paso del hidrógeno y el agua desde el lado del ánodo del EHP 220 al lado del cátodo del EHP 220. Los contaminantes presentes en la mezcla de gases se separarán y eliminarán del EHP 220, etapa 221. Mientras que las Figuras 2A, 2B muestran solo un EHP 220, puede incluirse cualquier cantidad adecuada de EHP. Por ejemplo, una pluralidad de EHP podría disponerse en paralelo o en serie. Además, cada EHP puede incluir una celda electroquímica individual o una pluralidad de celdas electroquímicas dispuestas en una pila.

Como se muestra en la etapa 222, el hidrógeno purificado recogido en el lado del cátodo del EHP 220 puede suministrarse a un consumidor de hidrógeno 230. El gas hidrógeno se puede suministrar al consumidor 230 en cualquier momento después de la purificación, por ejemplo, inmediatamente después de la purificación o después de un período de tiempo de almacenamiento, aunque reducir el tiempo entre la purificación y el suministro puede reducir la probabilidad de recontaminación. El consumidor 230 puede usar el hidrógeno suministrado para cualquier uso adecuado, que incluye, por ejemplo, para dispensar a vehículos con celdas de combustible (por ejemplo, en estaciones de servicio o transferencia), usar con vehículos con celdas de combustible, usar con aplicaciones de celdas de combustible estacionarias (por ejemplo, generadores de respaldo, sistemas de energía doméstica), aplicaciones portátiles de celdas de combustible, fabricación (por ejemplo, semiconductores, electrónica, metalurgia) u otros usuarios de gas hidrógeno (por ejemplo, laboratorios, síntesis química). Los proveedores de gas hidrógeno 210 pueden incluir productores en masa y distribuidores mayoristas que suministran a distribuidores minoristas (por ejemplo, estaciones de servicio o transferencia), fabricantes o usuarios industriales y de productos básicos, o usuarios individuales de hidrógeno. Los consumidores 230 de gas hidrógeno pueden incluir refinerías tanto de combustibles de hidrocarburos fósiles como renovables, distribuidores minoristas, por ejemplo, estaciones de servicio, fabricantes o usuarios industriales, o usuarios individuales de hidrógeno. En algunas modalidades, los proveedores 210 y los consumidores 230 pueden ser la misma entidad, por ejemplo, un minorista o fabricante puede producir su propio gas hidrógeno para su propio consumo.

Además, como se muestra en la Figura 2B, una porción de hidrógeno puede pasar por el EHP 220 en lugar de pasar a través del EHP 220 en la etapa 211. Por ejemplo, una porción de hidrógeno puede seguir a la etapa 212 y puede pasar directamente del proveedor de hidrógeno 210 al consumidor de hidrógeno 230. En tal ejemplo, una cantidad de hidrógeno del proveedor 210 puede dividirse en al menos dos porciones, una que sigue a la etapa 211 a través del EHP 220, y otra que sigue a la etapa 212, sin pasar por el EHP 220. Las dos porciones de hidrógeno se pueden volver a unir en la etapa 222 antes de llegar al consumidor 230. En algunos casos, la porción de hidrógeno que sigue a la etapa 212 puede ser más pequeña que la porción de hidrógeno que sigue a la etapa 211, mientras que, en algunos casos, la porción de hidrógeno que sigue a la etapa 212 puede ser sustancialmente igual o mayor que la porción de hidrógeno que sigue a la etapa 211. En algunos casos, la cantidad de hidrógeno dirigida hacia la etapa 211 y/o 212 puede variar con el tiempo, por ejemplo, la cantidad puede ajustarse manual o automáticamente con el tiempo. Por ejemplo, en algunos casos, el tamaño de cada porción puede variar en respuesta a un parámetro medido del sistema (por ejemplo, tensión, consumo, edad, eficiencia) o de los fluidos que pasan a través del EHP 220 (por ejemplo, contenido, presión, temperatura, régimen de flujo, etc.), o en respuesta a una característica del proveedor o del consumidor (por ejemplo, necesidades del consumidor, etc.). El método de la Figura 2B puede ajustarse para parecerse al método de la Figura 2A durante un período de tiempo y no se puede dirigir hidrógeno hacia la etapa 212.

El método de la Figura 2B puede proporcionar un método alternativo de purificación. El proveedor de hidrógeno 210 puede purificar la porción de gas hidrógeno que pasa a través del EHP 220, como se describe en relación con la Figura 2A. Cuando el hidrógeno purificado que pasa a través del EHP 220 se vuelve a mezclar en la etapa 222 con la porción de hidrógeno que se desvía del EHP 220, la mezcla de las porciones de gas hidrógeno puede dar como resultado un gas hidrógeno que alcanza un nivel umbral de pureza.

El proveedor de gas hidrógeno 210 puede usar los métodos de purificación anteriores de las Figuras 2A, 2B para asegurar que el gas hidrógeno suministrado al consumidor 230 cumpla un umbral predeterminado de pureza. Tal umbral puede establecerse por un estándar industrial, por ejemplo, CGA-5.3, SAE J2719 e ISO 14687-2, o puede dictarse al menos en parte por las necesidades del consumidor 230, por ejemplo. Los niveles de pureza de hidrógeno pueden superar el 99 % de pureza y, en algunos casos, pueden superar el 99,9 % de pureza. Las impurezas totales pueden ser menos de 400 partes por millón, y en algunos casos, pueden ser menos de 100 o menos de 10 partes por millón.

El proveedor 210 puede usar el EHP 220 para la purificación de hidrógeno como un método para dar ciertas fianzas o garantías, por ejemplo, a través de acuerdos o certificados contractuales, al consumidor 230 sobre el nivel de pureza del hidrógeno suministrado. Como se usa en la presente descripción, una garantía puede incluir cualquier garantía adecuada, expresa, implícita, escrita, oral, contingente, limitada, completa u otra. Como se usa en la presente descripción, un certificado puede incluir una certificación de acuerdo, cumplimiento, conformidad, análisis, precisión o cualquier otra certificación adecuada o sus combinaciones. Tales certificados pueden certificar o garantizar cualquier parámetro, medida, propiedad o calidad adecuada (por ejemplo, especialidad o industrial) de un gas, por ejemplo, contenido (por ejemplo, gas, humedad o partículas), certeza de composición, integridad, complejidad, nivel de pureza, cumplimiento de uno o más estándares o especificaciones. Además, el certificado podría certificar el método de mezcla, el tipo de análisis de laboratorio y el estándar de referencia usado para preparar la mezcla de gases y la fecha de vencimiento, por ejemplo. En consecuencia, el método de uso de un EHP para purificar una cantidad de gas hidrógeno puede proporcionar al proveedor 210 un método rentable de, por ejemplo, garantizar contractualmente la pureza del gas hidrógeno suministrado por el proveedor 210 al consumidor 230, o de producir y proporcionar un suministro de gas hidrógeno que cumpla un umbral predeterminado de pureza.

Ahora se describirá una modalidad de la presente invención. Un EHP se utiliza para monitorear la pureza de una cantidad de gas hidrógeno. Como se muestra en la Figura 3A, de acuerdo con esta modalidad, un proveedor 310 genera una cantidad de gas hidrógeno, que puede contener uno o más contaminantes. El suministro de gas hidrógeno puede generarse, por ejemplo, mediante el uso de cualquier reformador de metano con vapor adecuado, reformador de hidrocarburos fósiles, reformador de hidrocarburos renovables, electrolizador, reformador de etanol, reformador de

biomasa, gasificación de carbón, disociación del agua por energía nuclear, sistemas fotoelectroquímicos, sistemas fotobiológicos, o sistemas termoquímicos solares. En algunas modalidades, el proveedor 310 ya puede tener una cantidad de gas hidrógeno o líquido de hidrógeno contenido en cualquier contenedor adecuado, por ejemplo, un tubo, tanque, tubería o botella, y este hidrógeno puede tener una mezcla desconocida, sospechada o conocida de contaminantes

El gas hidrógeno se suministra a un consumidor de hidrógeno 330. Para garantizar la pureza del suministro de hidrógeno, una parte del gas hidrógeno con contaminantes potenciales se pasa a través de un EHP 320, etapas 311, 321. La porción de gas hidrógeno puede pasar a través del EHP 320 en cualquier punto después de la producción, por ejemplo, inmediatamente después de la producción o después de un período de tiempo de almacenamiento. Además, la porción de gas puede pasar a través del EHP 320 antes o durante el suministro del gas hidrógeno al consumidor 330 y puede ser parte de un proceso de monitoreo aleatorio, regular o continuo. Por ejemplo, en algunas modalidades, puede usarse una línea de suministro para suministrar gas hidrógeno directamente al consumidor 330, y una porción del gas se puede redirigir al EHP 320 antes y/o durante el suministro. En algunas modalidades, una porción de gas puede ser redirigida al EHP 320 mientras se dispensa el gas hidrógeno en un contenedor antes de que el gas se suministre al consumidor 330. En aún otras modalidades, los contenedores de gas destinados al suministro al consumidor 330 pueden muestrearse aleatoriamente y pasar porciones de gas de muestra a través del EHP 320. En algunas modalidades, EHP 320 puede instalarse en una entrada de fluido del gas hidrógeno. Como se describió anteriormente, el EHP 320 incluye una membrana electrolítica que solo permite el paso de protones, es decir, iones de hidrógeno y moléculas de agua.

Como se describió anteriormente con respecto a la Figura 2 ilustrativa, solo se permitirá que las moléculas de hidrógeno y agua pasen del lado del ánodo de EHP 320 al lado del cátodo de EHP 320. Mientras que la modalidad en la Figura 3A muestra solo un EHP, se puede incluir cualquier cantidad adecuada de EHP. Por ejemplo, se podría disponer una pluralidad de EHP en paralelo o en serie para monitorear la pureza del gas hidrógeno. Además, cada EHP puede incluir una celda electroquímica individual o una pluralidad de celdas electroquímicas dispuestas en una pila. En esta configuración, la tensión requerida para operar el EHP 320 utilizado como monitor aumenta a medida que se acumulan contaminantes en el lado del ánodo. El tiempo entre una purga del ánodo y un nivel específico de aumento de tensión es una función o proporcional a la cantidad de contaminantes. La calibración del monitor EHP se puede hacer con anticipación para detectar un nivel predeterminado de contaminantes o se puede hacer in situ al proporcionar al monitor EHP una cantidad de hidrógeno con un nivel de pureza conocido para compararlo con el flujo fuente.

Después de pasar a través del EHP 320, el gas hidrógeno puede volver a introducirse en el suministro de gas hidrógeno al consumidor 330, etapa 322. Sin embargo, si se detectan contaminantes en el suministro de gas hidrógeno y/o si se determina que el nivel de pureza está por debajo del umbral predeterminado, entonces se detiene el suministro de gas hidrógeno al consumidor 330, etapa 325. En algunas modalidades, por ejemplo, aquellas en las que se usa una línea de suministro para suministrar gas al consumidor 330 o a un contenedor para el suministro al consumidor 330, la detección de contaminantes en el gas hidrógeno puede detener el flujo de gas hidrógeno a través de la línea de suministro. Por ejemplo, se pueden incluir una o más válvulas de control de flujo en el sistema de suministro para controlar el flujo de gas a través de la línea de suministro. En algunas modalidades, se puede incluir un controlador 324 en el sistema de suministro, y el controlador 324 se puede configurar para detener automáticamente el suministro de gas (por ejemplo, cerrar la válvula de control de flujo) al consumidor 330. En algunas modalidades, una señal puede indicar al proveedor 310 o al consumidor 330 que se detectaron contaminantes, por ejemplo, una señal visual o audible. En algunas modalidades, el sistema puede ser manual, y el proveedor 310 puede detener manualmente el suministro de hidrógeno al consumidor 330 al percibir la señal.

Una vez que se completa el proceso de monitoreo o mientras se produce el proceso de monitoreo, el hidrógeno que se ha monitoreado para determinar su pureza puede volver a unirse al suministro de gas hidrógeno y suministrarse al consumidor de hidrógeno 330, etapa 322. El gas hidrógeno se puede suministrar al consumidor 330 en cualquier momento después del monitoreo, por ejemplo, inmediatamente después del monitoreo, durante el monitoreo o después de un período de tiempo de almacenamiento, aunque reducir el tiempo entre el monitoreo y el suministro puede reducir la probabilidad de una nueva contaminación.

Otro método de monitoreo se muestra en la Figura 3B. El método de la Figura 3B puede funcionar de manera similar al de la Figura 3A, excepto que una porción del gas hidrógeno con contaminantes potenciales que se desvía al EHP 320 en la etapa 321 puede enviarse a un dispositivo de medición de pureza 340 en la etapa 323. En este método, todo o parte del gas dirigido al EHP 320 en la etapa 321 puede dirigirse adicionalmente al dispositivo de medición 340 a través de la etapa 323. El gas enviado al dispositivo de medición 340 puede enviarse al EHP 320, pero no a través de este, o en algunos casos, el gas puede enviarse al dispositivo de medición 340 antes o después de que el gas haya pasado a través del EHP 320. Por ejemplo, el gas enviado al dispositivo de medición 340 puede recibirse desde el lado del cátodo después de pasar a través del EHP 320 y puede contener una concentración menor de contaminantes, o puede recibirse desde el lado del ánodo de EHP 320 sin haber pasado a través del EHP 320 y puede contener una mayor concentración de contaminantes en relación con el lado del cátodo.

El dispositivo de medición 340 puede incluir cualquier dispositivo adecuado, que incluye, por ejemplo, un cromatógrafo de gas, un espectrómetro de masa, un espectrómetro infrarrojo, un espectrómetro de movilidad iónica, un sensor de onda acústica de superficie, un espectrómetro óptico o cualquier instrumento de análisis adecuado. El dispositivo de medición 340 puede configurarse para medir la pureza del gas hidrógeno. Por ejemplo, el dispositivo de medición 340 puede

identificar los componentes y las cantidades relativas de esos componentes presentes en el gas hidrógeno, o el dispositivo de medición 340 puede medir solo la cantidad de uno o más contaminantes específicos a los que el consumidor 330 puede ser sensible, o el dispositivo de medición 340 puede identificar la cantidad de hidrógeno con relación a todos los contaminantes que no son hidrógeno presentes. En base a estas mediciones, el dispositivo de medición 340 puede configurarse para determinar la pureza del gas hidrógeno.

Además, en algunos casos, la pureza del gas hidrógeno con contaminantes potenciales se puede calcular en función de la medición tomada por el dispositivo de medición 340 y uno o más parámetros de EHP 320, por ejemplo, corriente, tensión, presión, temperatura, velocidad de flujo de gas, o cualquier otro parámetro adecuado. En algunas modalidades, este cálculo puede realizarse, por ejemplo, mediante el dispositivo de medición 340 o el controlador 324. Además, en algunos casos, el dispositivo de medición 340 y/o los cálculos utilizados podrían calibrarse o ajustarse en base a uno o más de estos parámetros. En consecuencia, se pueden incluir uno o más dispositivos de medición adicionales para medir cualquier parámetro adecuado de EHP 320, por ejemplo, un manómetro, termómetro u otro dispositivo adecuado.

Después de que el gas hidrógeno se envía al dispositivo de medición 340 y se toma una medición de pureza, el gas hidrógeno se puede pasar a través del EHP 320 y/o volver a introducirse en el suministro de gas hidrógeno proporcionado al consumidor 330, etapa 322. En algunos casos, el gas enviado al dispositivo de medición 340 puede purgarse o ventilarse y no puede pasar a través del EHP 320 o volver a introducirse en el suministro de gas hidrógeno proporcionado al consumidor 330.

En algunos casos, si el dispositivo de medición 340 detecta contaminantes en el suministro de gas hidrógeno, o si detecta que el nivel de pureza está por debajo de un umbral predeterminado, entonces se puede detener el suministro de gas hidrógeno al consumidor 330, etapa 325. En algunos casos, por ejemplo, aquellos en los que se usa una línea de suministro para suministrar gas al consumidor 330 o a un contenedor para el suministro al consumidor 330, la detección de contaminantes en el gas hidrógeno puede detener el flujo de gas hidrógeno a través de la línea de suministro. Por ejemplo, se pueden incluir una o más válvulas de control de flujo en el sistema de suministro para controlar el flujo de gas a través de la línea de suministro. En algunos casos, se puede incluir un controlador 324 en el sistema de suministro, y el controlador 324 se puede configurar para detener automáticamente el suministro de gas (por ejemplo, cerrar la válvula de control de flujo) al consumidor 330. Por ejemplo, el dispositivo de medición 340 puede acoplarse operativamente, mediante, por ejemplo, una conexión inalámbrica o rígida, al controlador 324 y puede comunicar continua o periódicamente lecturas de medición al controlador 324. En algunos casos, una señal puede indicar al proveedor 310 o al consumidor 330 que se detectaron contaminantes, por ejemplo, una señal visual o audible. En algunos casos, el sistema puede ser manual, y el proveedor 310 puede detener manualmente el suministro de hidrógeno al consumidor 330 al percibir la señal.

El método de la Figura 3B puede proporcionar ventajas sobre la simple medición de los contaminantes directamente en el flujo fuente de hidrógeno. Por ejemplo, si el gas hidrógeno enviado al dispositivo de medición 340 ya ha pasado a través del EHP 320 y se originó en el lado del ánodo de EHP 320, la concentración de contaminantes puede ser mayor. Tal configuración puede permitir el uso de un dispositivo de medición menos sensible, que puede ser menos costoso y proporcionar beneficios de costo. En consecuencia, el monitoreo de la pureza del gas hidrógeno mediante el uso de esta configuración puede ser menos costoso y más fácil de lograr que medir directamente la concentración del suministro de hidrógeno con contaminantes potenciales antes de la introducción de EHP 320.

El diagrama de flujo de la Figura 4 proporciona una disposición visual de las etapas de un método de monitoreo 410, similar a los métodos descritos anteriormente en relación con las Figuras 3A, 3B.

El consumidor puede usar el hidrógeno suministrado para cualquier uso adecuado, que incluye, por ejemplo, para dispensar a vehículos con celdas de combustible (por ejemplo, en estaciones de servicio o de transferencia), usar con vehículos con celdas de combustible, usar con aplicaciones de celdas de combustible estacionarias (por ejemplo, generadores de respaldo, sistemas de energía doméstica), aplicaciones portátiles de celdas de combustible, fabricación (por ejemplo, semiconductores, electrónica, metalurgia) u otros usuarios de gas hidrógeno (por ejemplo, laboratorios, síntesis química). Los proveedores de gas hidrógeno pueden incluir productores en masa y distribuidores mayoristas que suministran a distribuidores minoristas (por ejemplo, estaciones de servicio o transferencia), fabricantes o usuarios industriales y de productos básicos, o usuarios individuales de hidrógeno. Los consumidores de gas hidrógeno pueden incluir refinerías de combustibles de hidrocarburos renovables y fósiles, distribuidores minoristas, por ejemplo, estaciones de servicio, fabricantes o usuarios o fabricantes industriales, o usuarios individuales de hidrógeno. En algunas modalidades, los proveedores y los consumidores pueden ser la misma entidad, por ejemplo, un minorista o fabricante puede producir su propio gas hidrógeno para su propio consumo.

En algunas modalidades, el proveedor de gas hidrógeno puede usar el método de monitoreo anterior para garantizar que el gas hidrógeno suministrado al consumidor cumpla un umbral predeterminado de pureza. Tal umbral puede establecerse por un estándar industrial, por ejemplo, CGA-5.3, SAE J2719 e ISO 14687-2, o puede ser dictado, al menos en parte, por las necesidades del consumidor o cualquier otra especificación, por ejemplo. Los niveles de pureza de hidrógeno pueden superar el 99 % de pureza y, en algunos casos, pueden superar el 99,9 % de pureza. Las impurezas totales pueden ser menos de 400 partes por millón, tal como, por ejemplo, menos de 300 partes por millón, menos de 200 partes por millón, menos de 100 partes por millón, menos de 50 partes por millón y menos de 10 partes por millón. El proveedor utiliza un

EHP para el monitoreo de hidrógeno como un método para dar ciertas fianzas o garantías, por ejemplo, a través de acuerdos o certificados contractuales, al consumidor sobre el nivel de pureza del hidrógeno suministrado. En consecuencia, el método de uso de un EHP para monitorear la pureza de una cantidad de gas hidrógeno puede proporcionar a un proveedor un método rentable, por ejemplo, de garantizar contractualmente la pureza del gas hidrógeno suministrado por un proveedor a un consumidor, y proporcionar un suministro de gas hidrógeno que cumpla un umbral predeterminado de pureza.

El método de la Figura 5 ilustrativa ilustra un diagrama de flujo de eventos que pueden ocurrir con cualquier sistema de purificación o monitoreo adecuado, por ejemplo, con los descritos en las Figuras 2A, 2B, 3 y 4. Como se muestra en la etapa 410, un proveedor puede tener una cantidad de gas hidrógeno. La cantidad de gas hidrógeno puede generarse, por ejemplo, mediante el uso de cualquier reformador de metano con vapor adecuado, reformador de hidrocarburos fósiles, reformador de hidrocarburos renovable, electrolizador, reformador de etanol, reformador de biomasa, gasificación de carbón, disociación del agua por energía nuclear, sistemas fotoelectroquímicos, sistemas fotobiológicos, o sistemas termoquímicos solares. En algunos casos, un proveedor ya puede tener una cantidad de gas hidrógeno o líquido de hidrógeno contenido en cualquier contenedor adecuado, por ejemplo, un tubo, tanque, tubería o botella, y este hidrógeno puede tener una mezcla desconocida, sospechosa o conocida de contaminantes.

Para garantizar la pureza del gas hidrógeno suministrado a un consumidor, parte o la totalidad del gas hidrógeno con contaminantes potenciales puede pasar a través de un EHP, etapas 411 y 420. Como se describió anteriormente, el EHP incluye una membrana electrolítica y se configura para permitir que solo pasen protones, es decir, iones de hidrógeno y moléculas de agua. En consecuencia, solo se permitirá el paso del hidrógeno y el agua desde el lado del ánodo del EHP al lado del cátodo del EHP. Cualquier contaminante presente en la mezcla de gas se separará y eliminará del EHP, etapa 421. Si bien la Figura 5 muestra solo un EHP, se puede incluir cualquier cantidad adecuada de EHP. Por ejemplo, una pluralidad de EHP podría disponerse en paralelo o en serie. Además, cada EHP puede incluir una celda electroquímica individual o una pluralidad de celdas electroquímicas dispuestas en una pila. Al pasar toda o una porción de la cantidad de gas hidrógeno a través del EHP, la cantidad de gas hidrógeno se puede purificar, monitorear su pureza o ambas.

Una vez purificado y/o monitoreado, el gas hidrógeno puede estar listo para suministrarse a un consumidor. En base al monitoreo y/o purificación que se produjo durante la etapa 420, el proveedor de hidrógeno puede presentar un certificado, etapa 440. Tal certificado puede incluir una certificación de acuerdo, cumplimiento, conformidad, análisis, precisión o cualquier otra certificación adecuada o sus combinaciones. Los certificados ilustrativos pueden certificar o garantizar cualquier parámetro, medida, propiedad o calidad adecuada (por ejemplo, especialidad o industrial) de un gas, por ejemplo, contenido (por ejemplo, gas, humedad o partículas), certeza de composición, integridad, complejidad, nivel de pureza, cumplimiento de uno o más estándares o especificaciones. Además, el certificado podría certificar el método de mezcla, el tipo de análisis de laboratorio y el estándar de referencia usado para preparar la mezcla de gases y la fecha de vencimiento, por ejemplo. En algunos casos, el proveedor puede usar un EHP para dar ciertas fianzas o garantías, por ejemplo, a través de certificados u otros acuerdos contractuales, por ejemplo, en la etapa 440, al consumidor sobre el nivel de pureza del hidrógeno suministrado. Las garantías ilustrativas pueden incluir cualquier garantía adecuada, expresa, implícita, escrita, oral, contingente, limitada, completa u otra. Por ejemplo, el certificado producido en la etapa 440 puede certificar que el hidrógeno recogido del EHC y listo para proporcionar al consumidor, o el hidrógeno proporcionado al consumidor, tiene un parámetro, por ejemplo, nivel de pureza, que es al menos sustancialmente igual a un umbral predeterminado de pureza. El umbral de pureza podría establecerse, por ejemplo, de acuerdo con cualquier especificación adecuada, estándares industriales o de acuerdo con las necesidades del consumidor, por ejemplo.

El proveedor de hidrógeno puede entonces suministrar al consumidor de hidrógeno gas hidrógeno de una pureza certificada, etapas 422, 423, 430. El proveedor de hidrógeno puede proporcionar físicamente al consumidor de hidrógeno un certificado, o tal certificado puede proporcionarse oralmente o puede estar implícito. El certificado puede incorporarse como parte de un acuerdo contractual escrito, expreso, implícito, único o en curso entre el proveedor de hidrógeno y el consumidor de hidrógeno, y puede incluir cualquier garantía, acuerdo o certificación adecuada. El certificado se puede proporcionar al consumidor antes, durante o después del suministro del gas hidrógeno, o, si existe una relación de suministro continuo entre el proveedor y el consumidor, el certificado se puede proporcionar antes, durante o después de cada suministro de hidrógeno, todos los suministros de hidrógeno, o periódicamente en el transcurso de suministros de hidrógeno en curso.

El consumidor puede usar el hidrógeno suministrado para cualquier uso adecuado, que incluye, por ejemplo, para dispensar a vehículos con celdas de combustible (por ejemplo, en estaciones de servicio o de transferencia), usar con vehículos con celdas de combustible, usar con aplicaciones de celdas de combustible estacionarias (por ejemplo, generadores de respaldo, sistemas de energía doméstica), aplicaciones portátiles de celdas de combustible, fabricación (por ejemplo, semiconductores, electrónica, metalurgia) u otros usuarios de gas hidrógeno (por ejemplo, laboratorios, síntesis química). Los proveedores de gas hidrógeno pueden incluir productores en masa y distribuidores mayoristas que suministran a distribuidores minoristas (por ejemplo, estaciones de servicio o transferencia), fabricantes o usuarios industriales y de productos básicos, o usuarios individuales de hidrógeno. Los consumidores de gas hidrógeno pueden incluir refinerías de combustibles de hidrocarburos renovables y fósiles, distribuidores minoristas, por ejemplo, estaciones de servicio, fabricantes o usuarios industriales, o usuarios individuales de hidrógeno. En algunas modalidades, los proveedores y los consumidores pueden ser la misma entidad, por ejemplo, un minorista o fabricante puede producir su propio gas hidrógeno para su propio consumo.

5 En algunas modalidades, el proveedor de gas hidrógeno puede usar el método y certificado anteriores para garantizar que el gas hidrógeno suministrado al consumidor cumpla con un umbral predeterminado de pureza. Tal umbral puede establecerse por un estándar industrial, por ejemplo, CGA-5.3, SAE J2719 e ISO 14687-2, o puede ser dictado, al menos en parte, por las necesidades del consumidor o cualquier otra especificación, por ejemplo. Los niveles de pureza de hidrógeno pueden superar el 99 % de pureza y, en algunos casos, pueden superar el 99,9 % de pureza. Las impurezas totales pueden ser menos de 400 partes por millón, tal como, por ejemplo, menos de 300 partes por millón, menos de 200 partes por millón, menos de 100 partes por millón, menos de 50 partes por millón y menos de 10 partes por millón. En algunas modalidades, el proveedor puede usar un EHP para el monitoreo de hidrógeno como un método para dar ciertas fianzas o garantías, por ejemplo, mediante acuerdos o certificados contractuales, al consumidor sobre el nivel de pureza del hidrógeno suministrado. En consecuencia, el método de uso de un EHP para monitorear la pureza de una cantidad de gas hidrógeno puede proporcionar a un proveedor un método rentable, por ejemplo, de garantizar contractualmente la pureza del gas hidrógeno suministrado por un proveedor a un consumidor, o de producir y proporcionar un suministro de gas hidrógeno que cumpla un umbral predeterminado de pureza.

15 La aplicación de las modalidades descritas anteriormente puede facilitar la supervisión rentable, el control de calidad y el aseguramiento de la pureza del gas hidrógeno.

REIVINDICACIONES

1. Un método para monitorear la pureza del gas hidrógeno que comprende:
transferir una cantidad de una mezcla de gas hidrógeno, que comprende gas hidrógeno y gas que no es hidrógeno, a través de una bomba electroquímica de hidrógeno, en donde la bomba electroquímica de hidrógeno incluye un ánodo, un cátodo y una membrana electrolítica localizada entre el ánodo y el cátodo;
separar una cantidad de gas hidrógeno de la mezcla de gas hidrógeno al transferir el gas hidrógeno desde el ánodo, a través de la membrana electrolítica, al cátodo mientras evita que el gas que no es hidrógeno pase a través de la membrana electrolítica, incluyendo aplicar una tensión para operar la bomba electroquímica de hidrógeno;
recoger el gas hidrógeno del cátodo, y
eliminar una cantidad de gas que no es hidrógeno del ánodo;
el método que se caracteriza por:
monitorear el tiempo entre la purga del ánodo y un nivel específico de aumento de tensión, el tiempo que es una función de o proporcional a la cantidad de contaminantes en la mezcla de gas hidrógeno; y en donde un controlador detiene el suministro de gas hidrógeno a un consumidor si está por debajo de un umbral predeterminado de pureza;
y
proporcionar una garantía de que el gas hidrógeno recogido tiene una pureza que es al menos sustancialmente igual al umbral predeterminado de pureza.
2. El método de acuerdo con la reivindicación 1, que comprende suministrar la mezcla de gas hidrógeno directamente al consumidor mediante el uso de una línea de suministro, y redirigir una porción del gas en la línea de suministro como la cantidad de mezcla de gas hidrógeno transferida a través de la bomba electroquímica de hidrógeno.
3. El método de acuerdo con la reivindicación 2 que comprende además volver a introducir el gas hidrógeno recogido de la bomba electroquímica en el suministro al consumidor.
4. El método de acuerdo con la reivindicación 2 o 3, en donde se incluyen una o más válvulas de control de flujo para controlar el flujo de gas a través de la línea de suministro, y el controlador se configura para cerrar una o más válvulas de control de flujo, el método que comprende cerrar automáticamente la o más válvulas de control de flujo mediante el uso del controlador si se determina que el nivel de pureza de la mezcla de gases está por debajo del umbral predeterminado.
5. El método de acuerdo con la reivindicación 4, en donde el umbral predeterminado de pureza por debajo del cual el controlador cierra automáticamente una o más válvulas de control de flujo es de 99 % de hidrógeno.
6. El método de acuerdo con la reivindicación 4, en donde el umbral predeterminado de pureza por encima del cual el controlador cierra automáticamente la una o más válvulas de control de flujo es mayor de 300 partes por millón de impurezas totales.
7. El método de acuerdo con la reivindicación 4, en donde el umbral predeterminado de pureza por encima del cual el controlador cierra automáticamente la una o más válvulas de control de flujo es mayor de 50 partes por millón de impurezas totales.

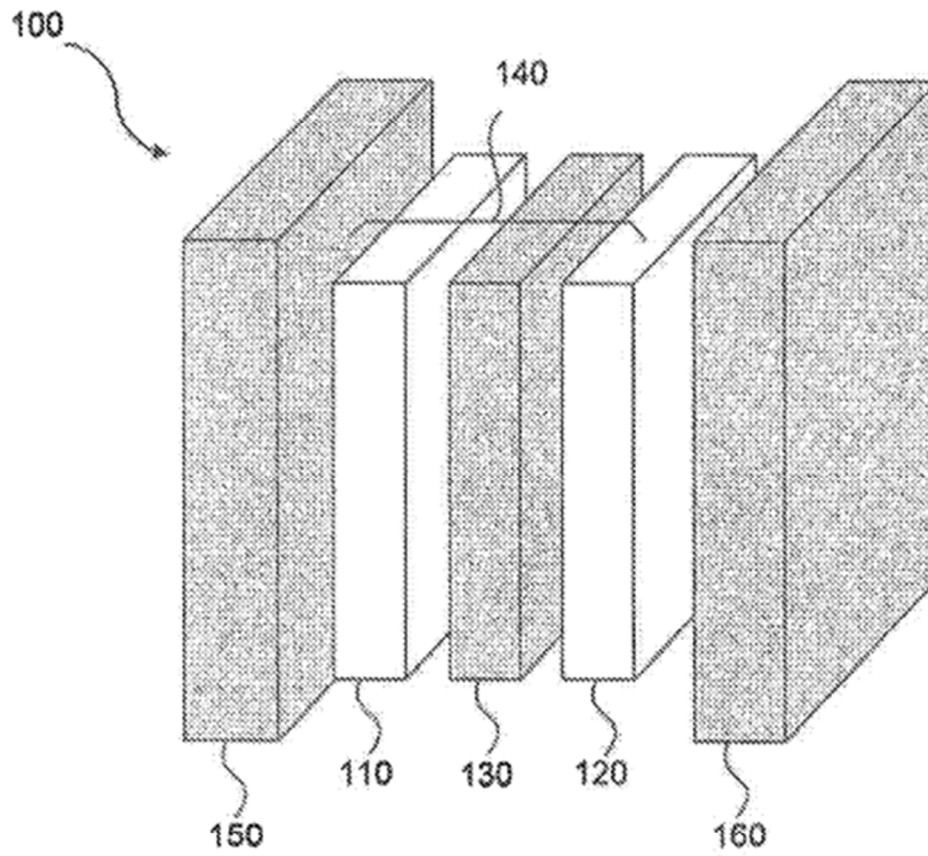


Figura 1

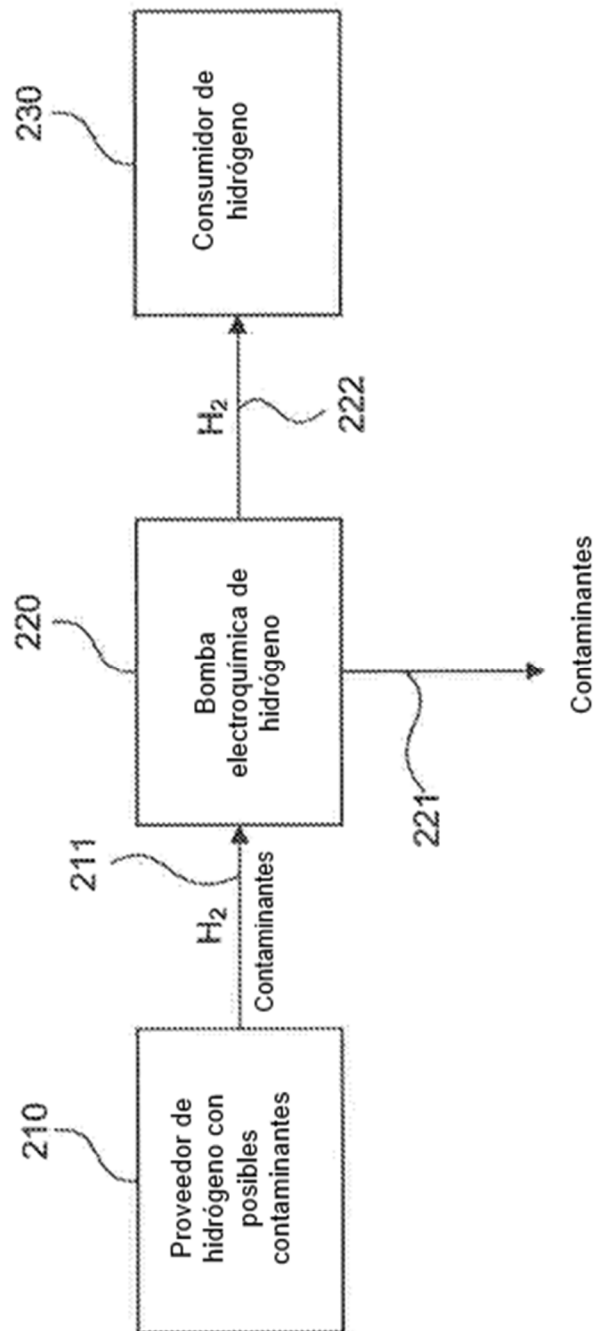


Figura 2A

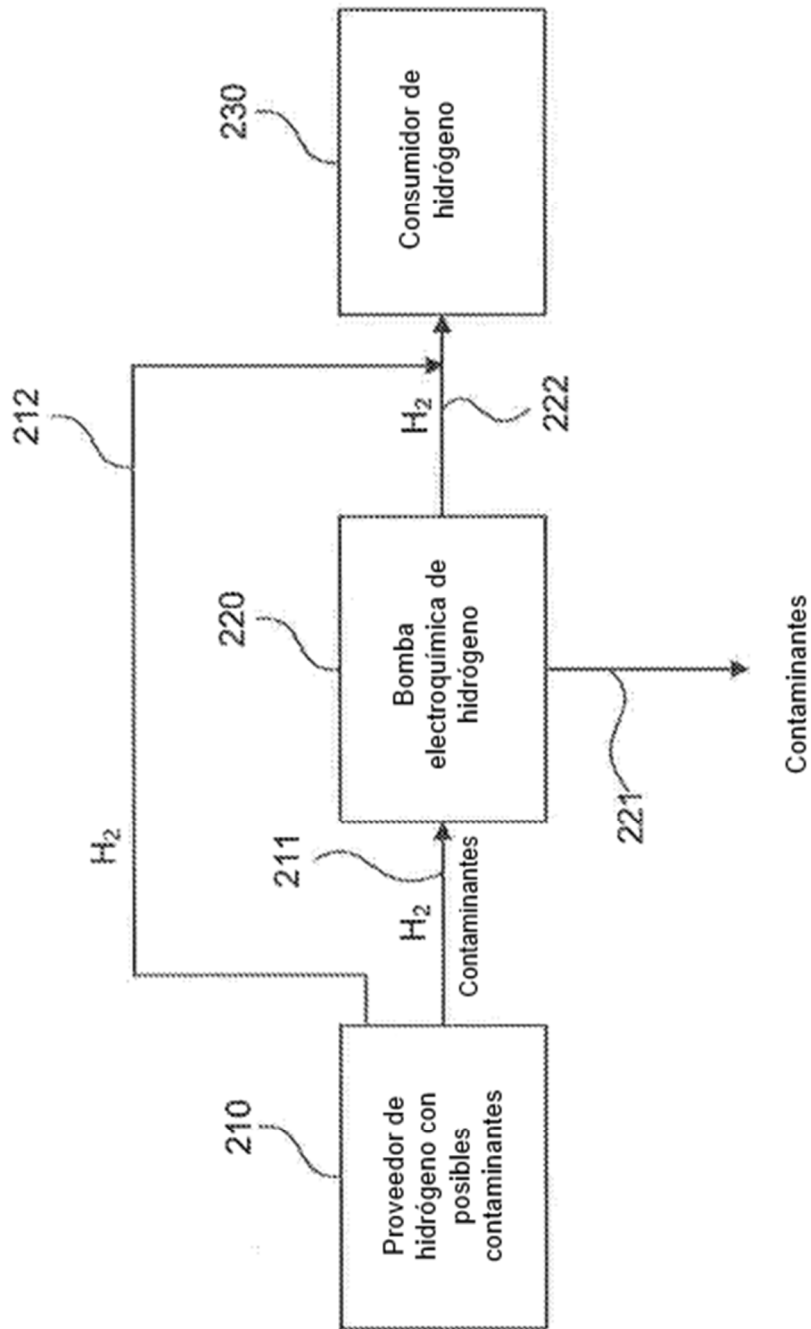


Figura 2B

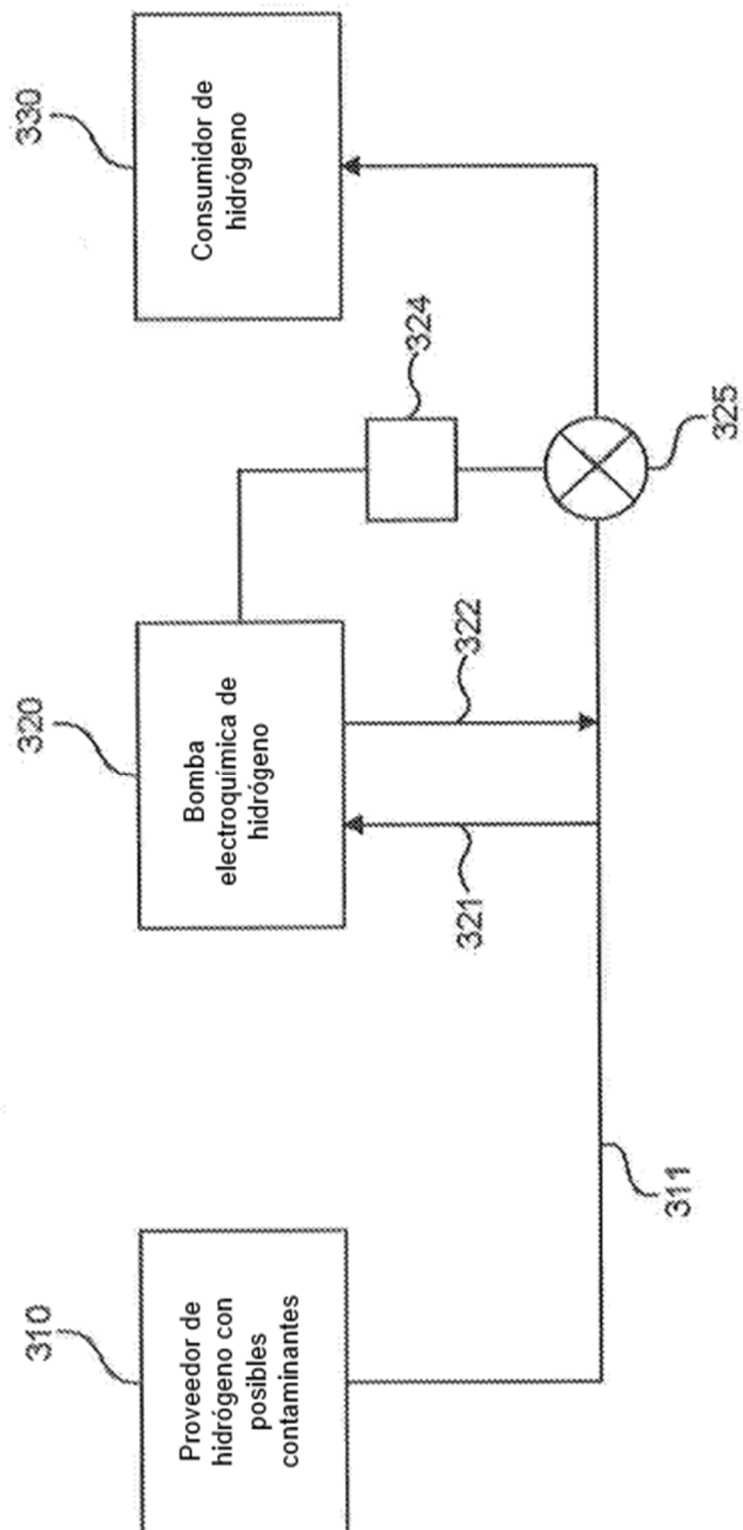


Figura 3A

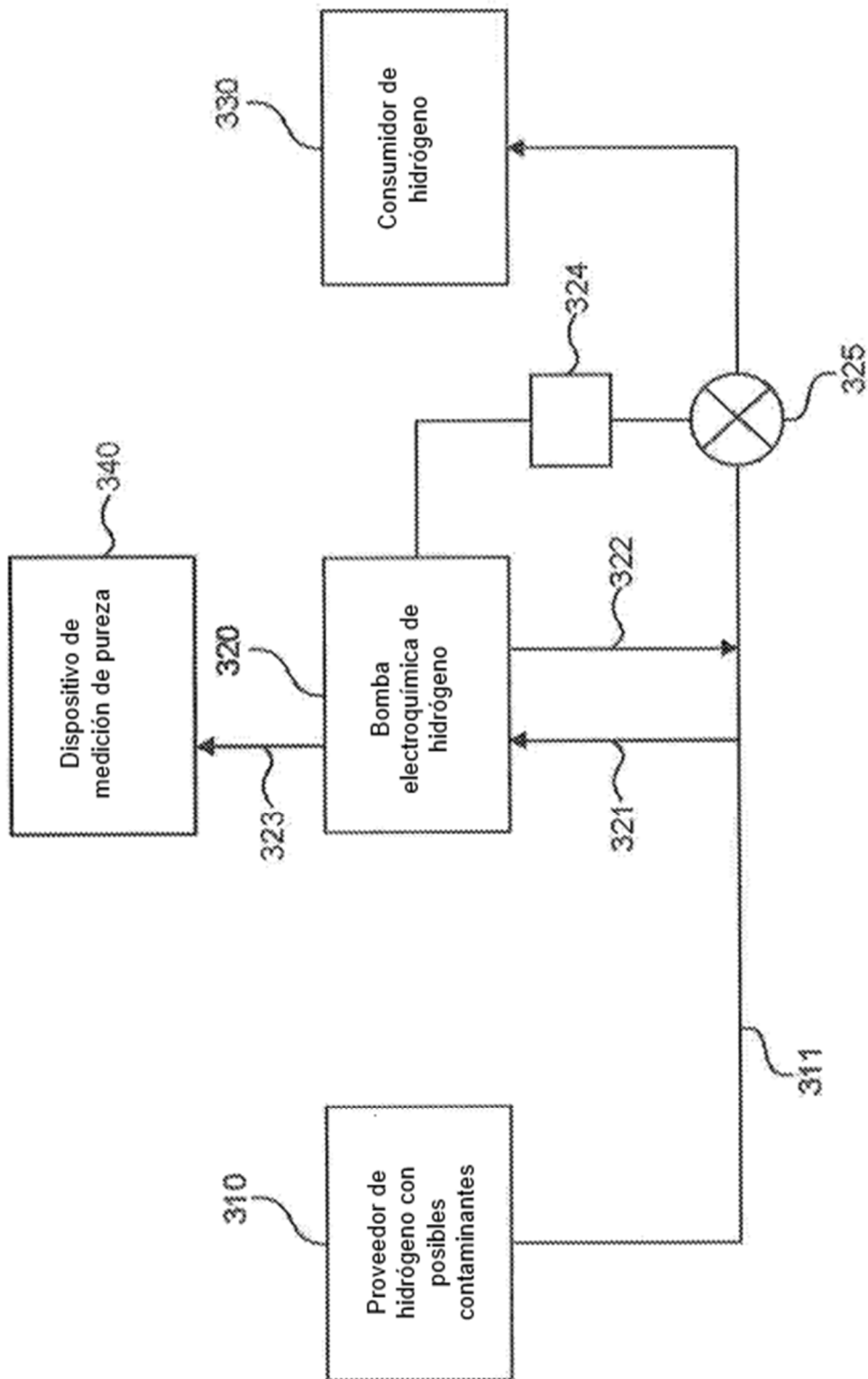


Figura 3B

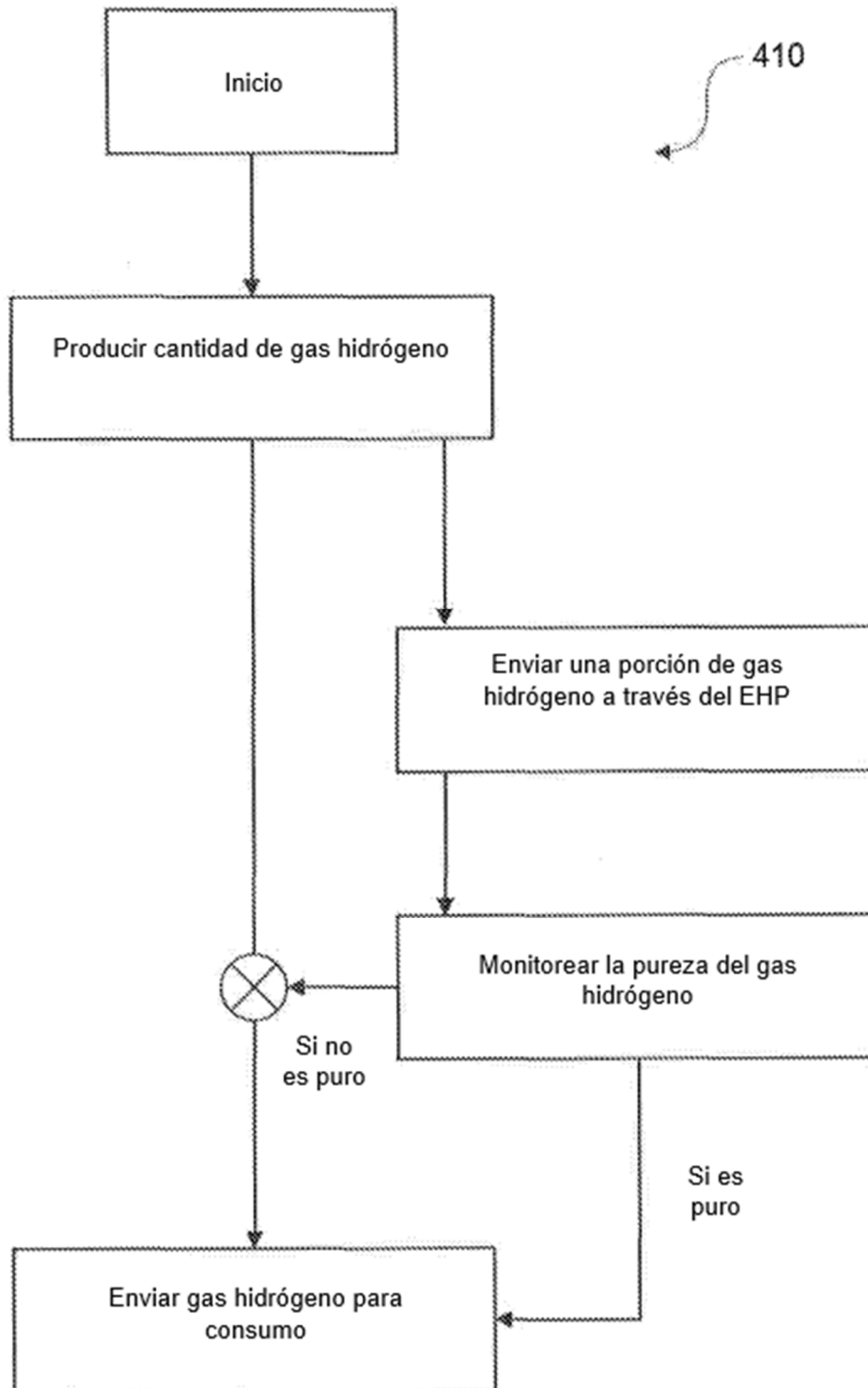
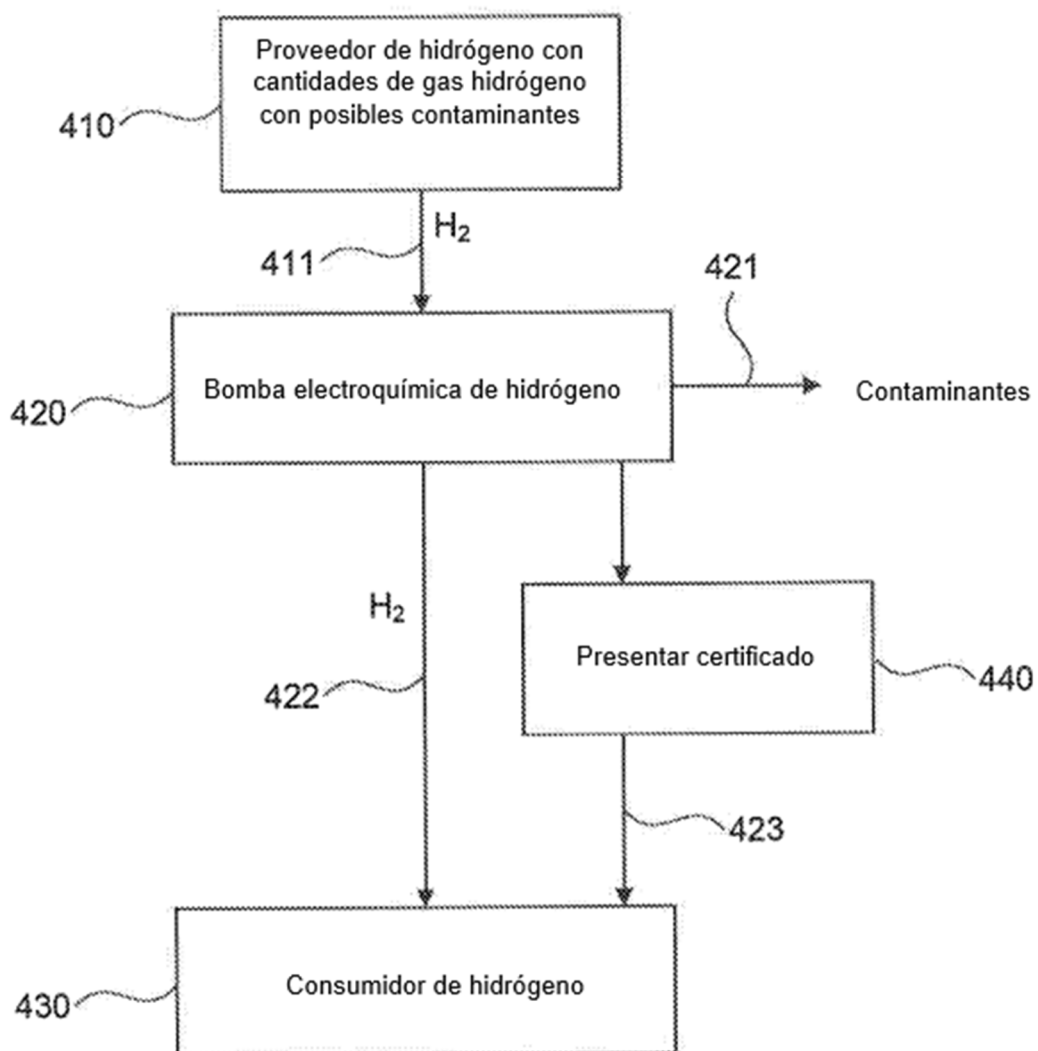


Figura 4

**Figura 5**