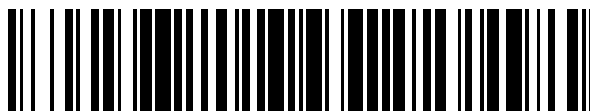


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 590 955**

51 Int. Cl.:

B01D 53/047 (2006.01)

C01B 3/32 (2006.01)

C01B 3/38 (2006.01)

C01B 3/48 (2006.01)

C01B 3/56 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **29.11.2005** **PCT/US2005/043113**

87 Fecha y número de publicación internacional: **29.06.2006** **WO06068787**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **29.11.2005** **E 05852399 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **15.06.2016** **EP 1841515**

54 Título: **Sistema y método para regular el funcionamiento de un ensamble de calentamiento a través del control de purga de la adsorción con oscilación de presión**

30 Prioridad:

22.12.2004 US 638451 P

14.02.2005 US 58307

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

24.11.2016

73 Titular/es:

DCNS (100.0%)
40-42, rue du Docteur Finlay
75015 Paris, FR

72 Inventor/es:

BIZJAK, TRAVIS

74 Agente/Representante:

LAZCANO GAINZA, Jesús

ES 2 590 955 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 regular el funcionamiento de un ensamble de calentamiento a través del control de purga de la adsorción con oscilación de presión

Campo de la descripción

La presente descripción se dirige generalmente a ensambles generadores de hidrógeno que incluyen ensambles de adsorción con oscilación de presión, y más particularmente a sistemas y métodos para regular el funcionamiento del ensamble de calentamiento en los ensambles generadores de hidrógeno a través del control del ciclo de purga de los ensambles de adsorción con oscilación de presión.

Antecedentes de la descripción

Un ensamble generador de hidrógeno es un ensamble que incluye un sistema de procesamiento de combustible que se adapta para convertir una o más materias primas en una corriente de producto que contiene gas de hidrógeno como un componente mayoritario. El gas de hidrógeno producido puede usarse en una variedad de aplicaciones. Una de tales aplicaciones es la producción de energía, tal como en las celdas electroquímicas de combustible. Una celda electroquímica de combustible es un dispositivo que convierte un combustible y un oxidante en electricidad, un producto de reacción, y calor. Por ejemplo, las celdas de combustible pueden convertir hidrógeno y oxígeno en agua y electricidad. En tales celdas de combustible, el hidrógeno es el combustible, el oxígeno es el oxidante, y el agua es el producto de reacción. Las celdas de combustible típicamente requieren un gas de hidrógeno de alta pureza para evitar que las celdas de combustible se dañen durante el uso. La corriente de producto del sistema de procesamiento de combustible de un ensamble generador de hidrógeno puede contener impurezas, cuyos ejemplos ilustrativos incluyen uno o más de monóxido de carbono, dióxido de carbono, metano, materia prima sin reaccionar, y agua. Por tanto, existe una necesidad en muchos sistemas de celdas de combustible convencionales de incluir una estructura adecuada para eliminar impurezas de la corriente de hidrógeno impura producida en el sistema de procesamiento de combustible.

Un proceso de adsorción con oscilación de presión (PSA) es un ejemplo de un mecanismo que puede usarse para eliminar impurezas de una corriente de gas de hidrógeno impuro mediante la adsorción selectiva de una o más de las impurezas presentes en la corriente de hidrógeno impura. Las impurezas adsorbidas pueden desorberse posteriormente y eliminarse del ensamble PSA. El PSA es un proceso de separación accionado por presión que usa una pluralidad de lechos adsorbentes. Los lechos se someten a un ciclo a través de una serie de etapas, tal como la presurización, la separación (adsorción), la despresurización (desorción), y las etapas de purga para eliminar selectivamente las impurezas del gas de hidrógeno y luego desorber las impurezas.

Muchos ensambles generadores de hidrógeno incluyen un ensamble de calentamiento que hace combustionar al menos una corriente de combustible con aire para producir una corriente de escape calentada para calentar al menos una porción del ensamble generador de hidrógeno. Las corrientes de combustible pueden venir de una variedad de fuentes, que incluyen el ensamble PSA. Sin embargo, los ensambles PSA se operan en ciclos PSA que tienden a producir corrientes de escape, o de subproducto, que tienen flujos variables e intermitentes y/o valores de combustible variables. Cuando se usa como una corriente de combustible para un ensamble de calentamiento, esta variación en la velocidad del flujo y/o en el valor de combustible puede producir resultados inconsistentes, a menudo impredecibles, en el ensamble de calentamiento, tal como períodos sin combustible, períodos de insuficiente combustible, períodos de demasiado combustible, períodos en los cuales las corrientes de combustible tienen valores de combustible variables, etc. Como un resultado, puede ser difícil para el ensamble de calentamiento mantener un componente seleccionado del ensamble generador de hidrógeno a una temperatura deseada o dentro de un intervalo de temperatura deseado, o seleccionado. De manera similar, a veces, el ensamble PSA puede no producir suficiente, o ninguna, corriente de escape para mantener una llama u otra fuente de ignición de un ensamble de calentamiento durante el funcionamiento.

El documento US 2004/0250472 describe un aparato de producción de gas combustible el cual incluye un mecanismo de vaporización, un mecanismo de reformado, un paso de suministro, un mecanismo de suministro de aire para la combustión y un ECU (Unidad de Control Electrónica).

El documento US 6,497,856 describe un reactor, el cual incluye: una cubierta unitaria; una trayectoria del flujo que se extiende dentro del ensamble de cubiertas; una sección de calentamiento dentro del ensamble de cubiertas; y una sección de enfriamiento dentro del ensamble de cubiertas.

Resumen de la invención

En un primer aspecto de la invención se proporciona un ensamble generador de hidrógeno, que comprende: un sistema de procesamiento de combustible adaptado para recibir al menos una región productora de hidrógeno adaptada para recibir al menos una corriente de alimentación y para producir una corriente de gas mezclado que contiene gas de hidrógeno y otros gases; un ensamble de adsorción con oscilación de presión adaptado para recibir la corriente de gas mezclado y para producir una corriente de hidrógeno producto que contiene al menos gas de hidrógeno sustancialmente puro y que tiene una concentración reducida de otros gases diferentes a la corriente de gas mezclado, y para producir

- una corriente de subproducto que contiene al menos una porción sustancial de los otros gases, en donde el ensamble de adsorción de presión oscilante incluye una pluralidad de lechos adsorbentes adaptadas para separar la corriente de gas mezclado en corrientes que forman la corriente de producto de hidrógeno y la corriente de subproducto; un ensamble de calentamiento adaptado para recibir y combustionar la corriente de subproducto para producir una corriente de escape calentada adaptada a calentar al menos la región productora de hidrógeno; y medios para regular la velocidad del flujo de un gas de purga a los lechos adsorbentes para producir un flujo de gas de subproducto suficiente para mantener la temperatura de la región productora de hidrógeno dentro de un intervalo de temperatura determinado para producir la corriente de gas mezclado.
- En un segundo aspecto de la invención se proporciona un método para regular la temperatura de una región productora de hidrógeno de un sistema de procesamiento de combustible adaptado para producir una corriente de gas mezclado que contiene gas de hidrógeno y otros gases, el método comprende: producir una corriente de gas mezclado que contiene gas de hidrógeno y otros gases en una región productora de hidrógeno calentada de un sistema de procesamiento de combustible; entregar la corriente de gas mezclado a un ensamble de adsorción con oscilación de presión que tiene una pluralidad de lechos adsorbentes que contiene adsorbente y se adapta para producir una corriente de subproducto que contiene al menos una porción sustancial de los otros gases y una corriente del hidrógeno producto que contiene una mayor concentración de gas de hidrógeno que la corriente de gas mezclado; adsorber los otros gases a partir de la corriente de gas mezclado para producir una corriente del hidrógeno producto que contiene una mayor concentración de gas de hidrógeno que la corriente de gas mezclado; despresurizar los lechos adsorbentes para facilitar la desorción de los otros gases a partir del adsorbente; purgar los lechos adsorbentes con un flujo de gas de purga para facilitar además la desorción de los otros gases, en donde las etapas de despresurización y de purga producen corrientes de gas a partir de las cuales se forma la corriente de subproducto; hacer combustionar la corriente de subproducto con aire en un ensamble de calentamiento adaptado para producir una corriente de escape calentada; calentar la región productora de hidrógeno del sistema de procesamiento de combustible con la corriente de escape calentada; y regular la velocidad del flujo del gas de purga a los lechos adsorbentes para producir un flujo suficiente de gas de subproducto para mantener la región productora de hidrógeno dentro de un intervalo de temperatura determinado para producir la corriente de gas mezclado.
- Breve descripción de los dibujos
- La Figura 1 es una vista esquemática de un ejemplo ilustrativo de un ensamble de producción y consumo de energía que incluye un ensamble generador de hidrógeno con un sistema de suministro de materia prima asociado y un sistema de procesamiento de combustible, así como también una pila de celdas de combustible, y un dispositivo consumidor de energía.
- La Figura 2 es una vista esquemática de un ensamble productor de hidrógeno en la forma de un reformado de vapor adaptado para producir una corriente reformada que contiene gas de hidrógeno y otros gases a partir del agua y al menos un carbono que contiene materia prima.
- La Figura 3 es una vista esquemática de una celda de combustible, tal como puede formar parte de una pila de celdas de combustible usada con un ensamble generador de hidrógeno de acuerdo con la presente descripción. La Figura 4 es una vista esquemática de un ensamble de adsorción con oscilación de presión que puede usarse de acuerdo con la presente descripción.
- La Figura 5 es una vista en sección transversal esquemática de un lecho adsorbente que puede usarse con ensambles PSA de acuerdo con la presente descripción.
- La Figura 6 es una vista en sección transversal esquemática de otro lecho adsorbente que puede usarse con ensambles PSA de acuerdo con la presente descripción.
- La Figura 7 es una vista en sección transversal esquemática de otro lecho adsorbente que puede usarse con ensambles PSA de acuerdo con la presente descripción.
- La Figura 8 es una vista en sección transversal esquemática del lecho adsorbente de la Figura 6 con una zona de transferencia de masa que se indica esquemáticamente.
- La Figura 9 es una vista en sección transversal esquemática del lecho adsorbente de la Figura 8 con la zona de transferencia de masa movida a lo largo de la región adsorbente del lecho hacia un extremo distal, o del producto, de la región adsorbente.
- La Figura 10 es una vista esquemática de otro ejemplo de un ensamble de adsorción con oscilación de presión que puede usarse de acuerdo con la presente descripción.
- La Figura 11 es una vista esquemática de otro ejemplo de un ensamble de adsorción con oscilación de presión que puede usarse de acuerdo con la presente descripción.

La Figura 12 es, un gráfico que describe la presión dentro de un lecho adsorbente de un ensamble PSA durante las etapas de despresurización y purga de un ciclo PSA.

La Figura 13 es un gráfico que describe la velocidad del flujo del gas de purga a un lecho adsorbente de un ensamble PSA durante la etapa de purga de un ciclo PSA de acuerdo con la presente descripción.

La Figura 14 es un gráfico que describe velocidades del flujo del gas de purga ilustrativas en ascenso a un lecho adsorbente de un ensamble PSA durante la etapa de purga de un ciclo PSA de acuerdo con la presente descripción.

La Figura 15 es un gráfico que describe velocidades del flujo en aumento ilustrativas del gas de purga a un lecho adsorbente de un ensamble PSA durante la etapa de purga de un ciclo PSA de acuerdo con la presente descripción.

Descripción detallada y el mejor modo de la invención

La Figura 1 ilustra esquemáticamente un ejemplo de un ensamble productor y consumidor de energía 56. El ensamble productor y consumidor de energía 56 incluye un sistema productor de energía 22 y al menos un dispositivo consumidor de energía 52 adaptado para ejercer una carga aplicada sobre el sistema productor de energía 22. En el ejemplo ilustrado, el sistema productor de energía 22 incluye una pila de celdas de combustible 24 y un ensamble generador de hidrógeno 46. Puede usarse más de uno de cualquiera de los componentes ilustrados.

El sistema productor de energía puede incluir componentes adicionales que no se ilustran específicamente en las figuras esquemáticas, tales como sistemas de suministro de aire, intercambiadores de calor, sensores, controladores, dispositivos reguladores del flujo, ensambles de suministro de combustible y/o de materia prima, ensambles de calentamiento, ensambles de enfriamiento, y similares. El sistema 22 puede denominarse además como un sistema de celdas de combustible.

Como se discutió en más detalles en la presente descripción, los ensambles generadores de hidrógeno y/o los sistemas de celdas de combustible de acuerdo con la presente descripción incluyen un ensamble de separación que incluye al menos un ensamble de adsorción con oscilación de presión (PSA) que se adapta para aumentar la pureza del gas de hidrógeno producida en el ensamble generador de hidrógeno y/o consumida en la pila de celdas de combustible. En un proceso PSA, las impurezas gaseosas se eliminan de una corriente que contiene gas de hidrógeno. El PSA se basa en el principio de que ciertos gases, bajo las condiciones apropiadas de temperatura y presión, se adsorberán sobre un material adsorbente con más fuerza que otros gases. Estas impurezas pueden desorberse y eliminarse después de esto, tal como en la forma de una corriente de subproducto. El éxito de usar PSA para la purificación del hidrógeno es debido a la adsorción relativamente fuerte de los gases de impureza común (tal como, pero sin limitarse a, CO, CO₂, hidrocarburos que incluye CH₄, y N₂) sobre el material adsorbente. El hidrógeno adsorbe sólo muy débilmente y por tanto el hidrógeno pasa a través del lecho adsorbente mientras que las impurezas se retienen sobre el material adsorbente.

Como se describe en más detalle en la presente descripción, un proceso PSA típicamente implica la aplicación repetida, o cíclica, de al menos la presurización, la separación (adsorción), la despresurización (desorción), y las etapas de purga, o procesos, para eliminar selectivamente las impurezas del gas de hidrógeno y luego desorber las impurezas. En consecuencia, el proceso PSA puede describirse como que se adapta para posibilitar repetidamente un ciclo PSA de las etapas, o niveles, tal como las etapas descritas anteriormente. El grado de separación se afecta por la diferencia de presión entre la presión de la corriente de gas mezclado y la presión de la corriente de subproducto. En consecuencia, la etapa de desorción incluirá típicamente reducir la presión dentro de la porción del ensamble PSA que contiene los gases adsorbidos, y opcionalmente puede aún incluir generar un vacío (es decir, reducir la presión a menos de una presión atmosférica o ambiente) sobre esa porción del ensamble. De manera similar, aumentar la presión de alimentación de la corriente de gas mezclado hacia las regiones adsorbentes del ensamble PSA puede afectar de manera beneficiosa el grado de separación durante la etapa de adsorción.

Como se ilustró esquemáticamente en la Figura 1, el ensamble generador de hidrógeno 46 incluye al menos un sistema de procesamiento de combustible 64 y un sistema de suministro de materia prima 58, así como también los conductos de fluido asociados que interconectan varios componentes del sistema. Como se usó en la presente invención, el término "ensamble generador de hidrógeno" puede usarse para referirse al sistema de procesamiento de combustible 64 y a los componentes asociados del sistema productor de energía, tal como los sistemas de suministro de materia prima 58, ensambles de calentamiento, regiones o dispositivos de separación, sistemas de suministro de aire, sistemas de suministro de combustible, conductos de fluido, intercambiadores de calor, ensambles de enfriamiento, ensambles de sensores, reguladores de flujo, controladores, etc. No se requiere que todos estos componentes ilustrativos se incluyan en ningún ensamble generador de hidrógeno o se usen con cualquier sistema de procesamiento de combustible de acuerdo con la presente descripción. De manera similar, pueden incluirse o usarse otros componentes como parte del ensamble generador de hidrógeno.

A pesar de su construcción o componentes, el sistema de suministro de materia prima 58 se adapta para suministrar al sistema de procesamiento de combustible 64 una o más materias primas por medio de una o más corrientes, las cuales pueden referirse generalmente a corriente(s) de suministro de materia prima 68. En la siguiente descripción, puede

hacerse referencia solamente a una única corriente de suministro de materia prima, pero está dentro del alcance de la presente descripción que pueden usarse dos o más corrientes, de la misma o de composición diferente. En algunas modalidades, el aire puede suministrarse al sistema de procesamiento de combustible 64 por medio de un soplador, ventilador, compresor u otro sistema de suministro de aire adecuado, y/o una corriente de agua puede suministrarse a partir de una fuente de agua separada.

El sistema de procesamiento de combustible 64 incluye cualquier dispositivo(s) adecuado(s) y/o estructura(s) que se configura(n) para producir gas de hidrógeno a partir de corriente(s) de suministro de materia prima 68. Como se ilustró esquemáticamente en la Figura 1, el sistema de procesamiento de combustible 64 incluye una región productora de hidrógeno 70. En consecuencia, el sistema de procesamiento de combustible 64 puede describirse como que incluye una región productora de hidrógeno 70 que produce una corriente rica en hidrógeno 74 que incluye gas de hidrógeno como un componente mayoritario a partir de la corriente de suministro de materia prima. Mientras la corriente 74 contiene gas de hidrógeno como su componente mayoritario, contiene además otros gases, y como tal puede referirse como una corriente de gas mezclado que contiene gas de hidrógeno y otros gases. Ejemplos ilustrativos, no exclusivos de estos otros gases, o impurezas, incluyen una o más de tales impurezas ilustrativas como monóxido de carbono, dióxido de carbono, agua, metano, y materia prima sin reaccionar.

Ejemplos ilustrativos de mecanismos adecuados para producir gas de hidrógeno a partir de una corriente de suministro de materia prima 68 incluyen el reformado de vapor y el reformado autotérmico, en el que los catalizadores de reformado se usan para producir gas de hidrógeno a partir de una corriente de suministro de materia prima 68 que contiene agua y al menos una materia prima que contiene carbono. Otros ejemplos de mecanismos adecuados para producir gas de hidrógeno incluyen pirólisis y oxidación parcial catalítica de una materia prima que contiene carbono, en cuyo caso la corriente de suministro de materia prima 68 no contiene agua. Aún otro mecanismo adecuado para producir gas de hidrógeno es la electrólisis, en cuyo caso la materia prima es agua. Ejemplos ilustrativos de materias primas adecuadas que contienen carbono incluyen al menos un hidrocarburo o alcohol. Ejemplos ilustrativos de hidrocarburos adecuados que incluyen metano, propano, gas natural, diesel, queroseno, gasolina y los similares. Ejemplos ilustrativos de alcoholes adecuados incluyen metanol, etanol, y polioles, tal como etilenglicol y propilenglicol.

El ensamble generador de hidrógeno 46 puede usar más de un único mecanismo productor de hidrógeno en la región productora de hidrógeno 70 y puede incluir más de una región productora de hidrógeno. Cada uno de los mecanismos se acciona mediante, y resulta en, diferentes balances termodinámicos en el ensamble generador de hidrógeno 46. En consecuencia, el ensamble generador de hidrógeno 46 puede incluir además un ensamble modulador de temperatura 71, tal como un ensamble de calentamiento y/o un ensamble de enfriamiento. El ensamble modulador de temperatura 71 puede configurarse como parte del sistema de procesamiento de combustible 64 o puede ser un componente externo que está en comunicación térmica y/o fluida con la región productora de hidrógeno 70. El ensamble modulador de temperatura 71 puede consumir una corriente de combustible, tal como para generar calor. Aunque no se requiere en todas las modalidades de la presente descripción, la corriente de combustible puede suministrarse desde el sistema de suministro de materia prima. Por ejemplo, como se indica en líneas discontinuas en la Figura 1, este combustible, o materia prima, puede recibirse desde el sistema de suministro de materia prima 58 por medio de una corriente de suministro de combustible 69. La corriente de suministro de combustible 69 puede incluir combustible o, alternativamente, puede incluir fluidos para facilitar el enfriamiento. El ensamble modulador de temperatura 71 puede recibir además alguna o toda su materia prima desde otras fuentes o sistemas de suministro, tal como desde tanques de almacenamiento adicionales. Puede recibirse además la corriente de aire desde cualquier fuente adecuada, que incluye el ambiente dentro del cual se usa el ensamble. Los sopladores, ventiladores y/o compresores puede usarse para proporcionar la corriente de aire, pero esto no se requiere para todas las modalidades.

El ensamble modulador de temperatura 71 puede incluir uno o más intercambiadores de calor, quemadores, sistemas de combustión, y otros de tales dispositivos para suministrar calor a las regiones del sistema de procesamiento de combustible y/u otras porciones del ensamble 56. En dependencia de la configuración del ensamble generador de hidrógeno 46, el ensamble modulador de temperatura 71 puede además, o alternativamente, incluir intercambiadores de calor, ventiladores, sopladores, sistemas de enfriamiento, y otros de tales dispositivos para enfriar regiones del sistema de procesamiento de combustible 64 u otras porciones del ensamble 56. Por ejemplo, cuando el sistema de procesamiento de combustible 64 se configura con una región productora de hidrógeno 70 basado en el reformado de vapor u otra reacción endotérmica, el ensamble modulador de temperatura 71 puede incluir sistemas para suministrar calor para mantener la temperatura de la región productora de hidrógeno 70 y los otros componentes en el intervalo apropiado.

Cuando el sistema de procesamiento de combustible se configura con una región productora de hidrógeno 70 basada en la oxidación parcial catalítica u otra reacción exotérmica, el ensamble modulador de la temperatura 71 puede incluir sistemas para eliminar calor, es decir, suministrar enfriamiento, para mantener la temperatura del sistema de procesamiento de combustible en el intervalo apropiado. Como se usa en la presente descripción, el término "ensamble de calentamiento" se usa para referirse generalmente a los ensambles moduladores de temperatura que se configuran para suministrar calor o de otra manera aumentar la temperatura de todas o de las regiones seleccionadas del sistema de procesamiento de combustible. Como se usa en la presente descripción, el término "ensamble de enfriamiento" se usa para referirse generalmente a los ensambles moderadores de la temperatura que se configuran para enfriar, o reducir la temperatura de, todas o de las regiones seleccionadas del sistema de procesamiento de combustible.

En la Figura 2, un ejemplo ilustrativo de un ensamble generador de hidrógeno 46 incluye un sistema de procesamiento de combustible 64 con una región productora de hidrógeno 70 que se adapta para producir corriente de gas mezclado 74 mediante el reformado de vapor de una o más corrientes de suministro de materia prima 68 que contiene agua 80 y al menos un carbono que contiene materia prima 82. Como se ilustra, la región 70 incluye al menos un lecho catalizador 84 de reformado que contiene uno o más catalizadores de reformado adecuados 86. En el ejemplo ilustrativo, la región productora de hidrógeno puede referirse como a la región de reformado, y la corriente de gas mezclado puede referirse como a una corriente de reformado.

Como se muestra además en la Figura 1 y 2, la corriente de gas mezclado se adapta para suministrarse a una región de separación, o ensamble, 72 que incluye al menos un ensamble PSA 73. El ensamble PSA 73 separa la corriente de gas mezclado (o de reformado) en una corriente de hidrógeno producto 42 y al menos una corriente de subproducto 76 que contiene al menos una porción sustancial de impurezas, u otros gases, presentes en la corriente de gas mezclado 74. La corriente de subproducto 76 puede no contener gas de hidrógeno, pero este típicamente contendrá parte de gas de hidrógeno. Aunque no se requiera, está dentro del alcance de la presente descripción que el sistema de procesamiento de combustible 64 pueda adaptarse para producir una o más corrientes de subproductos que contengan suficientes cantidades de hidrógeno (y/u otro(s)) gas(es) adecuados para su uso como una corriente de combustible, o de materia prima, para un ensamble de calentamiento para el sistema de procesamiento de combustible. En algunas modalidades, la corriente de subproducto puede tener suficiente valor combustible (es decir, hidrógeno y/u otro contenido de gas combustible) para permitir el ensamble de calentamiento, cuando esté presente, para mantener la región productora de hidrógeno a una temperatura de funcionamiento deseada o dentro de un intervalo de temperaturas seleccionadas.

Como se ilustra en la Figura 2, el ensamble generador de hidrógeno incluye un ensamble modulador de temperatura en la forma de un ensamble de calentamiento 71 que se adapta para producir una corriente de escape calentada 88 que se adapta para calentar al menos la región de reformado del ensamble generador de hidrógeno. Está dentro del alcance de la presente descripción que la corriente 88 pueda usarse para calentar otras porciones del ensamble generador de hidrógeno y/o del sistema productor de energía 22.

Como se indica en las líneas discontinuas en las Figuras 1 y 2, está dentro del alcance de la presente descripción que la corriente de subproducto desde el ensamble PSA pueda formar al menos una porción de la corriente de combustible para el ensamble de calentamiento. Se muestra además en la Figura 2 la corriente de aire 90, la cual puede suministrarse desde cualquier fuente de aire adecuada, y la corriente de combustible 92, la cual contiene cualquier combustible adecuado para combustionarse con aire en el ensamble de calentamiento. La corriente de combustible 92 puede usarse como la única corriente de combustible para el ensamble de calentamiento, pero como se describió, está además dentro del alcance de la descripción que puedan usarse otras corrientes de combustible, tales como la corriente de subproducto desde el ensamble PSA, la corriente de escape del ánodo desde una pila de celdas de combustible, etc. Cuando el subproducto o las corrientes de escape desde otros componentes del sistema 22 tengan suficiente valor combustible, la corriente de combustible 92 puede no usarse. Cuando estas no tienen suficiente valor combustible, se usan para otros propósitos, o no se generan, puede usarse en cambio o en combinación la corriente de combustible 92.

Los ejemplos ilustrativos de combustibles adecuados incluyen uno o más del carbono que contiene materias primas descrito anteriormente, aunque pueden usarse otros. Como un ejemplo ilustrativo de temperaturas que pueden lograrse y/o mantenerse en la región productora de hidrógeno 70 a través del uso del ensamble de calentamiento 71, los reformadores de vapor funcionan típicamente a temperaturas en el intervalo de 200 °C y 900 °C. Las temperaturas fuera de este intervalo están dentro del alcance de la descripción. Cuando el carbono que contiene materia prima es metanol, la acción de reformado de vapor funcionará típicamente en un intervalo de temperatura de aproximadamente 200-500 °C. Los subconjuntos ilustrativos incluyen 350-450 °C, 375-425 °C, y 375-400 °C. Cuando el carbono que contiene materia prima es un hidrocarburo, etanol, o un alcohol similar, un intervalo de temperatura de aproximadamente 400-900 °C se usará típicamente para la reacción de reformado de vapor. Los subconjuntos ilustrativos de este intervalo incluyen 750-850 °C, 725-825 °C, 650-750 °C, 700-800 °C, 700-900 °C, 500-800 °C, 400-600 °C, y 600-800 °C.

Está dentro del alcance de la presente descripción que la región de separación pueda implementarse dentro del sistema 22 en cualquier parte aguas abajo desde la región productora de hidrógeno y aguas arriba desde la pila de celdas de combustible. En el ejemplo ilustrativo mostrado esquemáticamente en la Figura 1, la región de separación se describe como parte del ensamble generador de hidrógeno, pero esta construcción no se requiere. Está además dentro del alcance de la presente descripción que el ensamble generador de hidrógeno pueda usar un proceso de separación químico o físico adicional al ensamble PSA 73 para eliminar o reducir la concentración de una o más impurezas seleccionadas de la corriente de gas mezclado. Cuando el ensamble de separación 72 usa un proceso de separación adicional al PSA, el uno o más procesos adicionales puede realizarse en cualquier localización adecuada dentro del sistema 22 y no requieren implementarse con el ensamble PSA. Un proceso de separación química ilustrativo es el uso de un catalizador de metanización para reducir selectivamente la concentración del monóxido de carbono presente en la corriente 74. Otros procesos de separación química ilustrativos incluyen la oxidación parcial de monóxido de carbono para formar dióxido de carbono y reacciones de cambio de agua a gas para producir gas de hidrógeno y dióxido de carbono a partir de agua y monóxido de carbono. Los procesos de separación física ilustrativos incluyen el uso de una membrana física u otra barrera adaptada para permitir que el gas de hidrógeno fluya a través de la misma pero adaptada para evitar que al menos las impurezas seleccionadas pasen a través del mismo. Estas membranas pueden

denominarse como membranas de hidrógeno selectivo. Los ejemplos ilustrativos de membranas adecuadas se forman de paladio o de una aleación de paladio y se describen en las referencias incorporadas en la presente descripción.

El ensamble generador de hidrógeno 46 preferentemente se adapta para producir al menos sustancialmente gas de hidrógeno puro, y aún con mayor preferencia, el ensamble generador de hidrógeno se adapta para producir gas de hidrógeno puro. Para los propósitos de la presente descripción, el gas de hidrógeno sustancialmente puro es de una pureza de más de 90 %, preferentemente de más de 95 %, con mayor preferencia de más de 99 %, y aún con mayor preferencia de más de 99,5 % o aún de 99,9 %. Ejemplos ilustrativos, no exclusivos de los sistemas procesadores de combustible adecuados se describen en las patentes de Estados Unidos núms. 6,221,117, 5,997,594, 5,861,137, y las publicaciones de solicitudes de patente de Estados Unidos núms. 2001/0045061, 2003/0192251, y 2003/0223926.

El hidrógeno a partir del sistema de procesamiento de combustible 64 puede suministrarse a uno o más del dispositivo de almacenamiento 62 y a la pila de celdas de combustible 24 por medio de una corriente de hidrógeno producto 42. Parte o todas las corrientes de hidrógeno 42 pueden suministrarse adicional, o alternativamente, por medio de un conducto adecuado, para su uso en otro proceso que consume hidrógeno, quemado para combustible o calor, o almacenado para un uso posterior. Con referencia a la Figura 1, el gas de hidrógeno usado como una fuente de protones, o reactivo, para la pila de celdas de combustible 24 puede suministrarse a la pila a partir de uno o más dispositivo de almacenamiento 62 y sistema de procesamiento de combustible 64. La pila de celdas de combustible 24 incluye al menos una celda de combustible 20, y típicamente incluye una pluralidad de celdas de combustible interconectadas fluida y eléctricamente. Cuando estas celdas se conectan entre sí en serie, la salida de energía de la pila de celdas de combustible es la suma de las salidas de energía de las celdas individuales. Las celdas en la pila 24 pueden conectarse en serie, paralelo, o combinaciones de configuraciones en serie y paralelo.

La Figura 3 ilustra esquemáticamente una celda de combustible 20, una o más de las cuales puede configurarse para formar una pila de celdas de combustible 24. Las celdas de combustible de la presente descripción pueden usar cualquier tipo adecuado de celda de combustible, y preferentemente celdas de combustible que reciben hidrógeno y oxígeno como fuentes de protones y oxidantes. Ejemplos ilustrativos de tipos de celdas de combustible incluyen celdas de combustible con membrana de intercambio de protones (PEM), celdas de combustible alcalinas, celdas de combustible de óxido sólido, celdas de combustible de carbonato fundido, celdas de combustible de ácido fosfórico, y similares. Para el propósito de ilustración, se ilustra esquemáticamente en la Figura 3 una celda de combustible ilustrativa 20 en la forma de una celda de combustible PEM.

Las celdas de combustible de la membrana de intercambio de protones típicamente usan un ensamble de membrana-electrodo 26 que consiste en una membrana de intercambio de iones, o electrolítica 28 localizada entre una región del ánodo 30 y una región del cátodo 32. Cada región 30 y 32 incluye un electrodo 34, específicamente, un ánodo 36 y un cátodo 38, respectivamente. Cada región 30 y 32 incluye además un soporte 39, tal como una placa de soporte 40. El soporte 39 puede formar una porción de los ensambles de placas bipolares que se describen con más detalles en la presente descripción. Las placas de soporte 40 de las celdas de combustible 20 transportan los potenciales de voltaje relativo producidos por las celdas de combustible.

Durante el funcionamiento, el gas de hidrógeno de la corriente producto 42 se suministra a la región del ánodo, y el oxidante 44 se suministra a la región del cátodo. Un oxidante típico, pero no exclusivo, es el oxígeno. Como se usa en la presente descripción, el hidrógeno se refiere al gas de hidrógeno y el oxígeno se refiere al gas de oxígeno. La siguiente descripción se referirá al hidrógeno como fuente de protones, o combustible, para la celda de combustible (pila), y el oxígeno como el oxidante, aunque está dentro del alcance de la presente descripción que puedan usarse otros combustibles y/u oxidantes. El hidrógeno y el oxígeno pueden suministrarse a las regiones respectivas de la celda de combustible por medio de cualquier mecanismo adecuado a partir de las fuentes respectivas 47 y 48. Ejemplos ilustrativos de fuentes adecuadas 48 de oxígeno 44 incluyen un tanque presurizado de oxígeno o aire, o un ventilador, compresor, soplador u otro dispositivo para dirigir el aire a la región del cátodo.

El hidrógeno y el oxígeno típicamente reaccionan entre sí por medio de una reacción de oxidación-reducción. Aunque la membrana 28 restringe el paso de una molécula de hidrógeno, esta permitirá que un ion de hidrógeno (protón) pase a través de ella, en gran parte debido a la conductividad iónica de la membrana. La energía libre de la reacción de oxidación-reducción impulsa el protón del gas de hidrógeno a través de la membrana de intercambio de iones. Como la membrana 28 tiende además a no conducir eléctricamente, un circuito externo 50 es la trayectoria de energía más baja para el electrón restante, y se ilustra esquemáticamente en la Figura 3. En la región del cátodo 32, los electrones del circuito externo y los protones de la membrana se combinan con el oxígeno para producir agua y calor.

Se muestran además en la Figura 3 una corriente de purga del ánodo, o de escape 54, que puede contener gas de hidrógeno, y una corriente de escape de aire del cátodo 55, la cual típicamente al menos parcialmente, sino sustancialmente, está desprovista de oxígeno. La pila de celdas de combustible 24 puede incluir una alimentación de hidrógeno común (u otro reactivo), una entrada de aire, y corrientes de purga de la pila y de escape, y en consecuencia incluirá conductos de fluidos adecuados para suministrar las corrientes adecuadas a, y recoger las corrientes de, las celdas de combustible individuales. De manera similar, puede usarse cualquier mecanismo adecuado para purgar selectivamente las regiones.

En la práctica, una pila de celdas de combustible 24 contendrá típicamente una pluralidad de celdas de combustible con ensambles de placas bipolares que separan los ensambles de membrana-electrodo adyacentes. Los ensambles de placas bipolares permiten esencialmente que el electrón libre pase desde la región del ánodo de una primera celda a la región del cátodo de la celda adyacente por medio del ensamble de placa bipolar, estableciendo de ese modo un potencial eléctrico a través de la pila que puede usarse para satisfacer una carga aplicada. Este flujo neto de electrones produce una corriente eléctrica que puede usarse para satisfacer una carga aplicada, tal como desde al menos una de un dispositivo consumidor de energía 52 y el sistema productor de energía 22.

Para un voltaje de salida constante, tal como de 12 voltios o 24 voltios, la energía de salida puede determinarse al medir la corriente de salida. La salida eléctrica puede usarse para satisfacer una carga aplicada, tal como desde el dispositivo consumidor de energía 52. La Figura 1 describe esquemáticamente que el sistema productor de energía 22 puede incluir al menos un dispositivo de almacenamiento de energía 78. El dispositivo 78, cuando se incluye, puede adaptarse para almacenar al menos una porción de la salida eléctrica, o energía, 79 desde la pila de celdas de combustible 24. Un ejemplo ilustrativo de un dispositivo de almacenamiento de energía adecuado 78 es una batería, pero pueden usarse otros. El dispositivo de almacenamiento de energía 78 puede usarse adicional o alternativamente para alimentar el sistema productor de energía 22 durante la puesta en marcha del sistema.

El al menos un dispositivo consumidor de energía 52 puede acoplarse eléctricamente al sistema productor de energía 22, tal como la pila de celdas de combustible 24 y/o uno o más dispositivos de almacenamiento de energía 78 asociado con la pila. El dispositivo 52 aplica una carga al sistema productor de energía 22 y genera una corriente eléctrica desde el sistema para satisfacer la carga. Esta carga puede denominarse como una carga aplicada, y puede incluir carga(s) térmica(s) y/o eléctrica(s). Está dentro del alcance de la presente descripción que la carga aplicada pueda satisfacerse mediante la pila de celdas de combustible, el dispositivo de almacenamiento de energía, o tanto la pila de celdas de combustible como el dispositivo de almacenamiento de energía. Ejemplos ilustrativos de los dispositivos 52 incluyen vehículos motores, vehículos recreativos, barcos y otras embarcaciones, y cualquier combinación de una o más residencias, oficinas comerciales o edificios, vecindarios, herramientas, luces y ensambles de luces, aparatos, ordenadores, equipamiento industrial, señalización y equipos de comunicaciones, componentes energizados eléctricamente en barcos, vehículos de recreación u otros vehículos, cargadores de batería e incluso los requerimientos eléctricos de balance de planta para el sistema productor de energía 22 del cual la pila de celdas de combustible 24 forma una parte. Como se indicó en líneas discontinuas en 77 en la Figura 1, el sistema productor de energía puede, pero no requiere, incluir al menos un módulo de administración de energía 77. El módulo de administración de energía 77 incluye cualquier estructura adecuada para condicionar o de otra manera regular la electricidad producida por el sistema productor de energía, tal como para el suministro al dispositivo consumidor de energía 52. El módulo 77 puede incluir tal estructura ilustrativa como convertidores reductores o elevadores, inversores, filtros de energía, y similares.

En la Figura 4 se muestra un ejemplo ilustrativo de un ensamble PSA 73. Como se muestra, el ensamble 73 incluye una pluralidad de lechos adsorbentes 100 que se conectan fluidamente por medio de ensambles de distribución 102 y 104. Los lechos 100 pueden referirse adicional o alternativamente como a cámaras adsorbentes o regiones de adsorción. Los ensambles de distribución se han ilustrado esquemáticamente en la Figura 4 y pueden incluir cualquier estructura adecuada para establecer selectivamente y restringir el flujo de fluidos entre los lechos y/o la entrada y la salida de corrientes del ensamble 73. Como se muestra, las corrientes de entrada y salida incluyen al menos corriente de gas mezclado 74, corriente del hidrógeno producto 42, y corriente de subproducto 76. Los ejemplos ilustrativos de estructuras adecuadas incluyen uno o más colectores, tales como colectores de distribución y de recogida que se adaptan respectivamente para distribuir fluidos hacia y a recoger fluidos desde los lechos, y válvulas, tales como las válvulas de comprobación, válvulas solenoides, válvulas de purga, y similares. En el ejemplo ilustrativo, se muestran tres lechos 100, pero está dentro del alcance de la presente descripción que el número de lechos puede variar, tal como para incluir más o menos lechos que los mostrados en la Figura 4. Típicamente, el ensamble 73 incluirá al menos dos lechos, y a menudo incluirá tres, cuatro, o más lechos. Aunque no se requiera, el ensamble 73 se adapta preferentemente para proporcionar un flujo continuo de corriente de hidrógeno producto, con al menos una de la pluralidad de lechos que escapa de esta corriente cuando el ensamble se usa y recibe un flujo continuo de corriente de gas mezclado 74.

En el ejemplo ilustrativo, el ensamble de distribución 102 se adapta para suministrar selectivamente la corriente de gas mezclado 74 a la pluralidad de lechos y para recoger y dejar escapar la corriente de subproducto 76, y el ensamble de distribución 104 se adapta para recoger el gas de hidrógeno purificado que pasa a través de los lechos y el cual forma la corriente de hidrógeno producto 42, y en algunas modalidades suministrar una porción del gas de hidrógeno purificado a los lechos para su uso como corriente de purga. Los ensambles de distribución pueden configurarse para posicionarse de manera fija o rotativa con respecto a los lechos. Además, los ensambles de distribución pueden incluir cualquier tipo y número adecuado de estructuras y dispositivos para distribuir, regular, medir, evitar y/o recoger selectivamente los flujos de las corrientes de gas correspondientes. Como ejemplos ilustrativos, no exclusivos, el ensamble de distribución 102 puede incluir gas mezclado y colectores de escape, o ensambles de colectores, y el ensamble de distribución 104 puede incluir colectores de purga y productos, o ensambles colectores. En la práctica, los ensambles PSA que usan ensambles de distribución que rotan con relación a los lechos pueden denominarse como ensambles de adsorción de presión oscilante rotativa, y los ensambles PSA en los cuales los colectores y lechos no se adaptan para rotar unos con respecto a los otros para establecer selectivamente y restringir las conexiones de fluidos pueden denominarse como

ensambles de adsorción con oscilación de presión de lecho fijo, o de lecho discreto. Ambas construcciones están dentro del alcance de la presente descripción.

La purificación de gas por adsorción con oscilación de presión implica un ciclo de presión secuencial y una inversión del flujo de las corrientes de gas relativas a los lechos adsorbentes. En el contexto de purificar una corriente de gas mezclado comprendida sustancialmente de gas de hidrógeno, la corriente de gas mezclado se suministra bajo una presión relativamente alta a un extremo de los lechos adsorbentes y por tanto se expone al/a los adsorbente(s) contenidos en su región adsorbente. Ejemplos ilustrativos de las presiones de suministro para la corriente de gas mezclado 74 incluyen presiones en el intervalo de 40-200 psi (0,28-1,38 MPa), tal como presiones en el intervalo de 50-150 psi (0,34-1,03 MPa), 50-100 psi (0,34-0,69 MPa), 100-150 psi (0,69-1,03 MPa), 70-100 psi (0,48-0,69 MPa), etc., aunque las presiones fuera de este intervalo están dentro del alcance de la presente descripción. Como la corriente de gas mezclado fluye a través de la región adsorbente, el monóxido de carbono, el dióxido de carbono, el agua y/u otras impurezas, u otros gases, se adsorben, y de este modo se retienen al menos temporalmente, sobre el adsorbente. Esto es debido a que estos gases se adsorben más fácilmente sobre los adsorbentes seleccionados usados en el ensamble PSA. La porción de la corriente de gas mezclado restante, la cual ahora puede quizás denominarse de manera más precisa como corriente de hidrógeno purificada, pasa a través del lecho y se escapa del otro extremo del lecho. En este contexto, el gas de hidrógeno puede describirse como un componente adsorbido menos fácilmente, mientras que el monóxido de carbono, el dióxido de carbono, etc. pueden describirse como los componentes de la corriente de gas mezclado adsorbidos más fácilmente. La presión de la corriente del hidrógeno producto se reduce típicamente antes del uso del gas mediante la pila de celdas de combustible.

Para eliminar los gases adsorbidos, el flujo de la corriente de gas mezclado se detiene, la presión en el lecho se reduce, y los gases desorbidos se escapan del lecho. La etapa de desorción incluye a menudo disminuir de manera selectiva la presión dentro de la región adsorbente a través de la retirada de gas, típicamente en una dirección contracorriente con respecto a la dirección de alimentación. Esta etapa de desorción puede referirse además a una etapa de despresurización, o soplado. Esta etapa incluye a menudo o se lleva a cabo junto con el uso de una corriente de gas de purga, la cual se suministra típicamente en una dirección del flujo contracorriente a la dirección a la cual la corriente de gas mezclado fluye a través de la región adsorbente. Un ejemplo ilustrativo de una corriente de gas de purga adecuada es una corriente de la porción del hidrógeno producto, ya que esta corriente está compuesta por gas de hidrógeno, el cual se adsorbe menos fácilmente que los gases adsorbidos. Pueden usarse otros gases en la corriente de gas de purga, aunque estos gases preferentemente se adsorben menos fácilmente que los gases adsorbidos, y aún con mayor preferencia no se adsorben, o solamente se adsorben muy débilmente, sobre el/los adsorbente(s) usados.

Como se discutió, esta etapa de desorción puede incluir la generación de al menos un vacío parcial sobre el lecho, pero esto no se requiere. Aunque no se requiera, es a menudo conveniente usar una o más etapas de compensación, en las cuales dos o más lechos se interconecten fluidamente para permitir que los lechos compensen las presiones relativas entre los mismos. Por ejemplo, una o más etapas de compensación pueden preceder a las etapas de desorción y presurización. Antes de la etapa de desorción, se usa la compensación para reducir la presión en el lecho y para recuperar parte del gas de hidrógeno purificado contenido en el lecho, mientras esté antes de la etapa de (re)presurización, la compensación se usa para aumentar la presión dentro del lecho. La compensación puede lograrse mediante el uso de un flujo de gas a favor de la corriente y/o contracorriente. Después que se completa la desorción y/o la(s) etapa(s) de purga de los gases desorbidos, el lecho se presuriza de nuevo y se alista para recibir y eliminar de nuevo las impurezas de la porción de la corriente de gas mezclado suministrada al mismo.

Por ejemplo, cuando un lecho está listo para regenerarse, este está típicamente a una presión relativamente alta y contiene una cantidad de gas de hidrógeno. Mientras este gas (y presión) puedan eliminarse simplemente al ventilar el lecho, otros lechos en el ensamble necesitarán presurizarse antes de usarse para purificar la porción de la corriente de gas mezclado suministrada al mismo. Además, el gas de hidrógeno en el lecho que se regenera preferentemente se recupera de manera que no impacte negativamente en la eficiencia del ensamble PSA. Por tanto, interconectar estos lechos en comunicación continua entre sí permite que la presión y el gas de hidrógeno en el lecho se regeneren para reducirse mientras aumenta además la presión y el gas de hidrógeno en un lecho que se usará para purificar el gas de hidrógeno impuro (es decir, la corriente de gas mezclado 74) que se suministra al mismo. Adicional a, o en lugar de, una o más etapas de compensación, un lecho que se usará para purificar la corriente de gas mezclado puede presurizarse antes del suministro de la corriente de gas mezclado al lecho. Por ejemplo, parte del gas de hidrógeno purificado puede suministrarse al lecho para presurizar el lecho. Aunque esté dentro del alcance de la presente descripción para suministrar gas de presurización a cada extremo del lecho, en algunas modalidades será conveniente suministrar el gas de presurización al extremo opuesto del lecho que en el extremo al cual se suministra la corriente de gas mezclado.

La descripción anterior del funcionamiento general de un ensamble PSA se ha simplificado de alguna manera. Ejemplos ilustrativos de ensambles de adsorción con oscilación de presión, que incluyen componentes del mismo y métodos para operarlo, se describen en las patentes de Estados Unidos núms. 3,564,816, 3,986,849, 5,441,559, 6,692,545, y 6,497,856.

En la Figura 5, se ilustra esquemáticamente un ejemplo ilustrativo de un lecho adsorbente 100. Como se muestra, el lecho define un compartimiento interno 110 que contiene al menos un adsorbente 112, cada adsorbente adaptado para adsorber uno o más componentes de la corriente de gas mezclado. Está dentro del alcance de la presente descripción

que puede usarse más de un adsorbente. Por ejemplo, un lecho puede incluir más de un adsorbente adaptado para adsorber un componente particular de la corriente de gas mezclado, tal como adsorber monóxido de carbono, y/o dos o más adsorbentes que se adaptan cada uno a adsorber un componente diferente de la corriente de gas mezclado. De manera similar, un adsorbente puede adaptarse para adsorber dos o más componentes de la corriente de gas mezclado. Ejemplos ilustrativos de adsorbentes adecuados incluyen carbono activado, adsorbentes de alúmina y zeolita. Un ejemplo adicional de un adsorbente que puede estar presente dentro de la región adsorbente de los lechos es un disecante que se adapta para adsorber el agua presente en la corriente de gas mezclado. Los disecantes ilustrativos incluyen geles de silicio y alúmina. Cuando se usan dos o más adsorbentes, estos pueden posicionarse secuencialmente (en una relación continua o discontinua) dentro del lecho o pueden mezclarse entre sí. Debe entenderse que el tipo, número, cantidad y forma del adsorbente en un ensamble PSA particular puede variar, tal como de acuerdo con uno o más de los siguientes factores: las condiciones de funcionamiento esperadas en el ensamble PSA, el tamaño del lecho adsorbente, la composición y/o propiedades de la corriente de gas mezclado, la aplicación deseada para la corriente del hidrógeno producto producida por el ensamble PSA, el ambiente de funcionamiento en el cual se usará el ensamble PSA, las preferencias del usuario, etc.

Cuando el ensamble PSA incluye un disecante u otra composición o dispositivo para la eliminación de agua, puede posicionarse para eliminar agua desde la corriente de gas mezclado antes de la adsorción de otras impurezas desde la corriente de gas mezclado. Una razón para esto es que el agua puede afectar negativamente la capacidad de algunos adsorbentes para adsorber otros componentes de la corriente de gas mezclado, tal como monóxido de carbono. Un ejemplo ilustrativo de un dispositivo de eliminación de agua es un condensador, pero otros pueden usarse entre la región productora de hidrógeno y la región adsorbente, como se ilustra esquemáticamente con líneas discontinuas en 122 en la Figura 1. Por ejemplo, puede usarse al menos un intercambiador de calor, condensador u otro dispositivo adecuado para la eliminación de agua para enfriar la corriente de gas mezclado antes de suministrar corriente al ensamble PSA. Este enfriamiento puede condensar parte del agua presente en la corriente de gas mezclado. Continuando este ejemplo, y para proporcionar una ilustración más específica, las corrientes de gas mezclado producidas mediante reformadores de vapor tienden a contener al menos 10 %, y a menudo al menos 15 % o más agua cuando se escapa desde la región productora de hidrógeno (es decir, el reformado) del sistema de procesamiento de combustible. Estas corrientes tienden además a ser bastante calientes, tal como con una temperatura de al menos 300 °C (en el caso de muchas corrientes de gas mezclado producidas a partir de metanol o carbono similar que contiene materias primas), y al menos 600-800 °C (en el caso de muchas corrientes de gas mezclado producidas a partir de gas natural, propano o materias primas similares que contienen carbono). Cuando se enfría antes del suministro al ensamble PSA, tal como a una temperatura ilustrativa en el intervalo de 25-100 °C o incluso 40-80 °C, la mayor parte de esta agua se condensará. La corriente de gas mezclado puede aún saturarse con agua, pero el contenido de agua tiende a ser menor que 5 % en peso.

El/los adsorbente(s) pueden estar presentes en el lecho en cualquier forma adecuada, cuyos ejemplos ilustrativos incluyen una forma de partículas, forma de lecho, bloques o discos porosos, estructuras recubiertas, láminas laminadas, tejidos, y similares. Cuando se posiciona para su uso en los lechos, los adsorbentes deberían proporcionar suficiente porosidad y/o trayectorias de flujo de gas para la porción no adsorbida de la corriente de gas mezclado para fluir a través del lecho sin una caída significativa de la presión a través del lecho. Como se usa en la presente descripción, la porción de un lecho que contiene adsorbente se denominará como la región adsorbente del lecho. En la Figura 5, una región adsorbente se indica generalmente en 114. Los lechos 100 pueden además (pero no se requiere) incluir particiones, soportes, pantallas y otra estructura adecuada para retener el adsorbente y otros componentes del lecho dentro del compartimiento, en posiciones relativas entre sí, en un grado de compresión deseado, etc. Estos dispositivos se denominan generalmente como soportes y se indican generalmente en la Figura 5 en 116. Por tanto, está dentro del alcance de la presente descripción que la región adsorbente pueda corresponder con todo el compartimiento interno del lecho, o solamente un subconjunto del mismo. De manera similar, la región adsorbente puede estar compuesta por una región continua o dos o más regiones separadas sin alejarse del alcance de la presente descripción.

En el ejemplo ilustrado mostrado en la Figura 5, el lecho 100 incluye al menos un puerto 118 asociado con cada región de extremo del lecho. Como se indica con líneas discontinuas, está dentro del alcance de la presente descripción que cada extremo o ambos extremos del lecho puedan incluir más de un puerto. De manera similar, está dentro del alcance de la descripción que los puertos puedan extenderse lateralmente a partir de los lechos o de otra manera puedan tener una geometría diferente a los ejemplos esquemáticos mostrados en la Figura 5. A pesar de la configuración y/o del número de puertos, los puertos se adaptan de manera colectiva para suministrar fluido para pasar a través de la región adsorbente del lecho y para recoger el fluido que pasa a través de la región adsorbente. Como se describió, los puertos pueden selectivamente, tal como en dependencia de la implementación particular del ensamble PSA y/o de la etapa en el ciclo PSA, usarse como un puerto de entrada o un puerto de salida. Con el propósito de proporcionar un ejemplo gráfico, la Figura 6 ilustra un lecho 100 en el cual la región adsorbente se extiende a lo largo de toda la longitud del lecho, es decir, entre los puertos opuestos u otras regiones de extremo del lecho. En la Figura 7, el lecho 100 incluye una región adsorbente 114 que incluye subregiones discontinuas 120.

Durante el uso de un lecho adsorbente, tal como el lecho 100, para adsorber gases de impurezas (específicamente los gases con mayor afinidad para adsorberse por el adsorbente), se definirá una zona de transferencia de masa en la región adsorbente. Más particularmente, los adsorbentes tienen una cierta capacidad de adsorción, la cual se define al menos en parte mediante la composición de la corriente de gas mezclado, la velocidad del flujo de la corriente de gas

- mezclado, la temperatura y/o la presión de funcionamiento a la cual se expone el adsorbente a la corriente de gas mezclado, cualquiera de los gases adsorbidos que no se han desorbido previamente desde el adsorbente, etc. Como la corriente de gas mezclado se suministra a la región adsorbente de un lecho, el adsorbente en la porción del extremo de la región adsorbente próxima al puerto de suministro de gas mezclado eliminará impurezas de la corriente de gas mezclado. Generalmente, estas impurezas se adsorberán dentro de un subconjunto de la región adsorbente, y la porción de la región adsorbente restante tendrá solamente gases de impurezas adsorbidas mínimos, si existe alguno. Esto se ilustra esquemáticamente de alguna manera en la Figura 8, en la cual se muestra que la región adsorbente 114 incluye una región, o zona de transferencia de masa, 130.
- Como el adsorbente en la zona de transferencia de masa inicial continúa adsorbiendo impurezas, este se acercará o incluso alcanzará su capacidad para adsorber estas impurezas. Como esto sucede, la zona de transferencia de masa se moverá hacia el extremo opuesto de la región adsorbente. Más particularmente, como el flujo de gases de impurezas excede la capacidad de una porción particular de la región adsorbente (es decir, una zona de transferencia de masa particular) para adsorber estos gases, los gases fluirán más allá de esa región y hacia la porción contigua de la región adsorbente, donde estos se adsorberán mediante el adsorbente en esa porción, expandiendo y/o moviendo efectivamente la zona de transferencia de masa generalmente hacia el extremo opuesto del lecho.
- Esta descripción se simplifica de alguna manera en que la zona de transferencia de masa a menudo no define límites uniformes de inicio y final a lo largo de la región adsorbente, especialmente cuando la corriente de gas mezclado contiene más de un gas que se adsorbe por el adsorbente. De manera similar, estos gases pueden tener afinidades diferentes para adsorberse y por tanto pueden incluso competir entre sí por lugares adsorbentes. Sin embargo, una porción sustancial (tal como al menos 70 % o más) de la adsorción tiende a ocurrir en una porción de la región adsorbente localizada relativamente, esta porción, o zona, que tiende a migrar desde el extremo de alimentación al extremo del producto de la región adsorbente durante el uso del lecho. Esto se ilustra esquemáticamente en la Figura 9, en la cual la zona de transferencia de masa 130 se muestra movida hacia el puerto 118' relativo a su posición en la Figura 8. En consecuencia, el adsorbente 112' en la porción 114' de la región adsorbente tendrá una capacidad sustancialmente reducida, si tiene alguna, para adsorber impurezas adicionales. Descrito en otros términos, el adsorbente 112' puede describirse como que se satura sustancialmente, si no completamente, con gases adsorbidos. En las Figuras 8 y 9, los extremos de alimentación y del producto de la región adsorbente se indican generalmente en 124 y 126 y generalmente se refieren a las porciones de la región adsorbente que están próximas, o más cercanas al puerto de suministro de gas mezclado y al puerto del producto del lecho.
- Durante el uso del ensamble PSA, la zona de transferencia de masa tiende a migrar hacia y lejos de los extremos 124 y 126 de la región adsorbente. Más específicamente, y como se describió, el PSA es un proceso cíclico que implica cambios repetidos en la dirección del flujo y la presión. La siguiente descripción describirá el ciclo PSA con referencia a cómo las etapas en el ciclo tienden a afectar la zona de transferencia de masa (y/o la distribución de gases adsorbidos a través de la región adsorbente). Debe entenderse que el tamaño, o longitud, de la zona de transferencia de masa tiende a variar durante el uso del ensamble PSA, y por tanto tiende a no tener dimensiones fijas.
- Al inicio de un ciclo PSA, el lecho se presuriza y la corriente de gas mezclado fluye bajo presión a través de la región adsorbente. Durante esta etapa de adsorción, las impurezas (es decir, los otros gases) se adsorben mediante el/los adsorbente(s) en la región adsorbente. Como estas impurezas se adsorben, la zona de transferencia de masa tiende a moverse hacia el extremo distal, o del producto, de la región adsorbente dado que las porciones iniciales de la región adsorbente se saturan cada vez más con gas adsorbido. Cuando la etapa de adsorción se completa, se detienen el flujo de la corriente de gas mezclado 74 al lecho adsorbente y el flujo de gas de hidrógeno purificado (al menos una porción del cual formará una corriente de producto de hidrógeno 42). Mientras no se requiera, el lecho puede someterse después a una o más etapas de compensación en las cuales el lecho se interconecta de manera fluida con uno o más de otros lechos en el ensamble PSA para disminuir la presión y el gas de hidrógeno presente en el lecho y para cargar el/los lecho(s) de recepción con presión y gas de hidrógeno. El gas puede retirarse del lecho presurizado tanto de cualquiera, o de ambos, puertos de alimentación o de productos. Arrastrar el gas desde el puerto de producto tiende a proporcionar gas de hidrógeno de mayor pureza que el gas arrastrado desde el puerto de alimentación. Sin embargo, la disminución de la presión resultante de esta etapa tiende a arrastrar impurezas en la dirección a la cual se elimina el gas del lecho adsorbente. En consecuencia, la zona de transferencia de masa puede describirse como que se mueve hacia el extremo del lecho adsorbente más cercano al puerto desde el cual el gas se elimina del lecho. Dicho en términos diferentes, cuando el lecho se usa de nuevo para adsorber impurezas de la corriente de gas mezclado, la porción de la región adsorbente en la cual la mayoría de las impurezas se adsorben en un tiempo determinado, es decir, la zona de transferencia de masa, tiende a moverse hacia el extremo de alimentación o del producto de la región adsorbente en dependencia de la dirección a la cual el gas de compensación se retira del lecho.
- El lecho se despresuriza luego, con esta etapa que arrastra típicamente el gas desde el puerto de alimentación debido a que la corriente de gas tiende a tener una concentración más alta de otros gases, los cuales se desorben desde el adsorbente ya que la presión en el lecho disminuye. Esta corriente de escape puede referirse a un subproducto, o una corriente de impurezas, 76 y puede usarse para una variedad de aplicaciones, que incluye como una corriente de combustible para un quemador u otro ensamble de calentamiento que combustiona una corriente de combustible para producir una corriente de escape calentada. Como se describió, el ensamble generador de hidrógeno 46 puede incluir un ensamble de calentamiento 71 que se adapta para producir una corriente de escape calentada para calentar al

menos la región productora de hidrógeno 70 del sistema de procesamiento de combustible. De acuerdo con la Ley de Henry, la cantidad de gases adsorbidos que se desorben del adsorbente se relaciona con la presión parcial del gas adsorbido presente en el lecho adsorbente. Por tanto, la etapa de despresurización puede incluir, seguirse, o al menos solaparse parcialmente en el tiempo, con una etapa de purga, en la cual el gas, típicamente a baja presión, se introduce en el lecho adsorbente. Este gas fluye a través de la región adsorbente y arrastra los gases desorbidos lejos de la región adsorbente, esta eliminación de los gases desorbidos que resulta en una desorción adicional del gas desde el adsorbente. Como se describió, un gas de purga adecuado es gas de hidrógeno purificado, tal como producido previamente mediante el ensamble PSA. Típicamente, los flujos de corriente de purga del extremo del producto al extremo de alimentación de la región adsorbente para impulsar las impurezas (y por tanto reposicionar la zona de transferencia de masa) hacia el extremo de alimentación de la región adsorbente. Está dentro del alcance de la descripción que la corriente de gas de purga que puede formar una porción de la corriente de subproducto, pueda usarse como una corriente de combustible (tal como para calentar el ensamble 71), y/o pueda usarse de otra manera en el PSA o en otros procesos.

El ejemplo ilustrativo de un ciclo PSA se completa, y un nuevo ciclo comienza típicamente. Por ejemplo, el lecho adsorbente purgado vuelve a presurizarse luego, tal como al ser un lecho de recepción para otro lecho adsorbente que se somete a la compensación, y opcionalmente puede presurizarse además mediante gas de hidrógeno purificado suministrado al mismo. Al usar una pluralidad de lechos adsorbentes, típicamente tres o más, el ensamble PSA puede adaptarse para recibir un flujo continuo de corriente de gas mezclado 74 y para producir un flujo continuo de gas de hidrógeno purificado (es decir, un flujo continuo de corriente del hidrógeno producto 42). Aunque no se requiera, el tiempo para el nivel o etapa de adsorción, representa a menudo un tercio o dos tercios del ciclo PSA, tal como que representa aproximadamente la mitad del tiempo para un ciclo PSA.

Es importante detener la etapa de adsorción antes que la zona de transferencia de masa alcance el extremo distal (relativo a la dirección en la cual la corriente de gas mezclado se suministra a la región adsorbente) de la región adsorbente. En otras palabras, el flujo de la corriente de gas mezclado 74 y la eliminación de la corriente del hidrógeno producto 42 preferentemente debería detenerse antes que los otros gases que se desea eliminar del gas de hidrógeno escapen del lecho con el gas de hidrógeno debido a que el adsorbente se satura con gases adsorbidos y por tanto ya no puede evitar más de manera efectiva que estos gases de impurezas escapen de lo que convenientemente es una corriente de hidrógeno purificado. Esta contaminación del producto de corriente de hidrógeno con gases de impurezas que se eliminan convenientemente mediante el ensamble PSA puede denominarse como una interferencia, en la que los gases de impurezas "interfieren" en la región adsorbente del lecho. Convencionalmente, los detectores de monóxido de carbono se han usado para determinar cuándo la zona de transferencia de masa está cerca o ha alcanzado el extremo distal de la región adsorbente y por tanto está, o estará, presente en la corriente de producto de hidrógeno. Los detectores de monóxido de carbono se usan más comúnmente que los detectores para otros de los gases presentes en la corriente de gas mezclado debido a que el monóxido de carbono puede dañar muchas celdas de combustible cuando están presentes incluso en pocas partes por millón (ppm). Aunque sea efectivo, y dentro del alcance de la presente descripción, este mecanismo de detección requiere el uso de los detectores de monóxido de carbono y el equipamiento de detección relacionado, el cual tiende a ser costoso y a aumentar la complejidad del ensamble PSA.

Como se introdujo en relación con la Figura 4, el ensamble PSA 73 incluye ensambles de distribución 102 y 104 que suministran y/o recogen selectivamente corriente de gas mezclado 74, corriente del hidrógeno producto 42, y corriente de subproducto 76 hacia y desde la pluralidad de lechos adsorbentes 100. Como se describió, la corriente del hidrógeno producto 42 se forma a partir de las corrientes de gas de hidrógeno purificado producidas en las regiones adsorbentes de los lechos adsorbentes. Está dentro del alcance de la presente descripción que parte de este gas puede usarse como una corriente de gas de purga que se suministra selectivamente (tal como por medio de un colector de distribución apropiado) a los lechos adsorbentes durante las etapas de purga y/o soplado para promover la desorción y eliminación de los gases adsorbidos para el adsorbente. Los gases desorbidos, así como también las corrientes de gas de purga que se retiran de los lechos adsorbentes con los gases desorbidos de manera colectiva puede formar corrientes de subproductos 76, los cuales como se describió, pueden usarse como una corriente de combustible para calentar el ensamble 71 u otro dispositivo que se adapta para recibir una corriente de combustible.

Las Figuras 10 y 11 proporcionan un ejemplo de alguna manera menos esquemático de los ensambles PSA 73 que incluyen una pluralidad de lechos adsorbentes 100. Similar al ejemplo ilustrativo mostrado en la Figura 4, se muestran tres lechos adsorbentes en la Figura 10, pero está dentro del alcance de la presente descripción que pueden usarse más o menos lechos, como se describe gráficamente en la Figura 11, en la cual se muestran cuatro lechos, aunque pueden usarse más de cuatro lechos sin apartarse del alcance de la presente descripción. De manera similar, puede usarse más de un ensamble PSA en relación con el mismo ensamble generador de hidrógeno y/o el sistema de celdas de combustible. Como se muestra en las Figuras 10 y 11, el ensamble PSA 73 incluye un ensamble de distribución 102 que incluye un colector de gas mezclado 140 y un colector de escape 142. El colector de gas mezclado 140 se adapta para distribuir selectivamente la corriente de gas mezclado a los extremos de alimentación 144 de los lechos adsorbentes, como se indica en 74'. Los colectores de escape 142 se adaptan para recoger el gas que escapa de los extremos de alimentación de los lechos adsorbentes, específicamente, los otros gases desorbidos, gas de purga, y otro gas que no se recoge para formar la corriente de hidrógeno producto 42. Estas corrientes de escape se indican en 76' en las Figuras 10 y 11 y de manera colectiva forman corrientes de subproducto 76.

Las Figuras 10 y 11 describen además esquemáticamente corrientes de subproducto 76 que se suministran al ensamble de calentamiento 71 para combustionarse con aire, tal como desde la corriente de aire 90, para producir corriente de escape calentada 88. Como se muestra en las Figuras 10 y 11, está dentro del alcance de la presente descripción que el ensamble de calentamiento 71 pueda, pero no requiera, adaptarse para recibir una corriente de combustible 92 adicional a la corriente de subproducto 76. En algunas modalidades, la corriente 92 puede referirse además a una corriente de combustible suplementaria. Cualquier combustible adecuado puede usarse en la corriente 92. Ejemplos ilustrativos de combustibles adecuados para la corriente 92 incluye gas de hidrógeno, tal como gas de hidrógeno producido por el ensamble generador de hidrógeno 46, y/o cualquier carbono que contenga las materias primas descritas anteriormente, que incluye propano sin limitación, gas natural, metano, y metanol.

Como se describió en relación con la Figura 2, cuando el ensamble PSA 73 y el ensamble de calentamiento 71 se usan en conexión con un sistema de procesamiento de combustible 64 que incluye una región productora de hidrógeno 70 que funciona a temperaturas elevadas, el ensamble de calentamiento puede adaptarse para calentar al menos la región 70 con la corriente de escape 88. Por ejemplo, la corriente 88 puede calentar la región 70 a una temperatura adecuada y/o dentro de un intervalo de temperatura adecuado, para producir gas de hidrógeno a partir de una o más corrientes de alimentación. Como se describió además, las reacciones de reformado de vapor y autotérmicas son ejemplos ilustrativos de procesos endotérmicos que pueden usarse para producir una corriente de gas mezclado 74 a partir de agua y carbono que contiene materia prima, aunque adicional o alternativamente pueden usarse otros procesos y/o componentes de corriente de alimentación para producir corriente de gas mezclado 74. Está además dentro del alcance de la presente descripción que la corriente de escape pueda adaptarse para proporcionar calentamiento primario para calentar un componente de un ensamble productor de hidrógeno, un sistema de celdas de combustible, u otra implementación de ensambles 71 y 73.

En las modalidades ilustrativas mostradas en las Figuras 10 y 11, el ensamble de distribución 104 incluye un colector de producto 150 y un colector de purga 152. El colector de producto 150 se adapta para recoger las corrientes de gas de hidrógeno purificado que se retiran de los extremos de producto 154 de los lechos adsorbentes y a partir de los cuales se forma la corriente del hidrógeno producto 42. Estas corrientes de gas de hidrógeno purificado se indican en las Figuras 10 y 11 en 42'. El colector de purga 152 se adapta para suministrar selectivamente un gas de purga, tal como una porción del gas de hidrógeno purificado, a los lechos adsorbidos, tal como para promover la desorción de los gases de impurezas adsorbidas y regenerar de este modo el adsorbente contenido en la presente descripción. Las corrientes de gas de purga se indican en 156' y pueden denominarse colectivamente como corriente de gas de purga 156. Como se indica en 158, está dentro del alcance de la presente descripción que el producto y los colectores de purga puedan estar en comunicación continua entre sí para desviar selectivamente al menos una porción del gas de hidrógeno purificado (o corriente de hidrógeno producto) para usarse como corriente de purga 156. Está además dentro del alcance de la presente descripción que uno o más de otros gases a partir de una o más de otras fuentes puedan formar adicional o alternativamente al menos una porción de corriente de purga 156.

Aunque no se requiera, las Figuras 10 y 11 ilustran en 160 que en algunas modalidades puede ser conveniente conectar fluidamente el colector de productos y/o los conductos de fluidos para la corriente del hidrógeno producto con los conductos de fluidos para la corriente de subproducto. Tal conexión de fluidos puede usarse para desviar selectivamente al menos una porción del gas de hidrógeno purificado (o que se pretende purificar) hacia el ensamble de calentamiento en lugar de hacia el destino al cual se suministra de otra manera la corriente del hidrógeno producto 42. Como se describió, ejemplos de destinos adecuados incluyen dispositivos de almacenamiento de hidrógeno, pila de celdas de combustible y dispositivos consumidores de hidrógeno. Ejemplos ilustrativos de situaciones en las cuales el desvío de la corriente del hidrógeno producto hacia el ensamble de calentamiento incluyen si el destino ha recibido ya su máxima capacidad de gas de hidrógeno, si está fuera de servicio o de otra manera es incapaz de recibir cualquier gas de hidrógeno adicional, si se detecta una concentración inaceptable de una o más impurezas en el gas de hidrógeno, si es necesario desactivar el ensamble generador de hidrógeno y/o el sistema de celdas de combustible, si una porción de la corriente del hidrógeno producto se necesita como una corriente de combustible para el ensamble de calentamiento, etc.

En una modalidad implementada del ensamble PSA 73, puede usarse cualquier número, estructura y construcción adecuados de colectores y conductos de fluidos para las corrientes de fluidos descritos en la presente descripción. De manera similar, puede usarse cualquier número y tipo adecuado de válvulas u otros dispositivos reguladores del flujo 170 y/o sensores u otros detectores de propiedad 172, cuyos ejemplos ilustrativos, no exclusivos se muestran en las Figuras 10 y/o 11. Por ejemplo, las válvulas de comprobación 174, que proporcionan otras válvulas solenoide 176, válvulas de liberación de presión 178, válvulas de orificio variable 180, y orificios fijos 182 se muestran para ilustrar ejemplos no exclusivos de dispositivos reguladores de flujo 170. De manera similar, se muestran los medidores del flujo 190, los sensores de presión 192, los sensores de temperatura 194, y los detectores de composición 196 para ilustrar ejemplos no exclusivos de detectores de propiedad 172. Un ejemplo ilustrativo de un detector de composición es un detector de monóxido de carbono 198, tal como para detectar la concentración, si existe alguna, de monóxido de carbono en las corrientes de gas de hidrógeno purificado 42' y/o en la corriente del hidrógeno producto 42.

Aunque no se requiera, está dentro del alcance de la presente descripción que el ensamble PSA pueda incluir, asociarse con, y/o estar en comunicación con un controlador que se adapta para controlar el funcionamiento de al

menos las porciones del ensamble PSA y/o un ensamble generador de hidrógeno asociado y/o un sistema de celdas de combustible. Un controlador se ilustra esquemáticamente en las Figuras 2 y 10-11 y generalmente indicadas en 200. El controlador 200 puede comunicarse con al menos los dispositivos reguladores de flujo y/o los detectores de propiedad 172 por medio de cualquier enlace de comunicación inalámbrica y/o cableada, como se ilustra esquemáticamente en 202. Esta comunicación puede incluir una comunicación de una o de dos vías y puede incluir tales señales de comunicación como entradas y/o salidas correspondientes a valores medidos o calculados, señales de comando, información de estado, entradas del usuario, valores que se almacenan, valores umbrales, etc. Como ejemplos ilustrativos, no exclusivos, el controlador 200 puede incluir uno o más circuitos analógicos o digitales, unidades lógicas o procesadores para operar los programas almacenados como software en memoria, una o más unidades más discretas en comunicación entre sí, etc. El controlador 200 puede además regular o controlar otras porciones del ensamble generador de hidrógeno o sistema de celdas de combustible y/o puede estar en comunicación con otros controladores adaptados para controlar el funcionamiento del ensamble generador de hidrógeno y/o del sistema de celdas de combustible. El controlador 200 se ilustra en las Figuras 10 y 11 implementado como una unidad discreta. Este puede implementarse además como componentes o controladores separados. Tales controladores separados, luego, pueden comunicarse entre sí y/o con otros controladores presentes en el sistema 22 y/o el ensamble 46 por medio de cualquier enlace de comunicación adecuado.

En las Figuras 10 y 11, una pluralidad de sensores de temperatura 194 se muestran asociados con uno de los lechos adsorbentes ilustrados. Está dentro del alcance de la presente descripción que cada uno o ninguno de los lechos puede incluir uno o más sensores de temperatura adaptados para detectar una o más temperaturas asociadas con el lecho adsorbente, el adsorbente en el lecho, la región adsorbente del lecho, el gas que fluye a través del lecho, etc.

En la Figura 12, se muestra un gráfico ilustrativo (no exclusivo) de la presión dentro de un lecho adsorbente durante las etapas de soplado, o despresurización, y de purga de un ciclo PSA. En 210, la presión se indica antes de la etapa de despresurización, tal como después que se haya completado el nivel o la etapa de adsorción, y quizás más típicamente, después que se hayan completado una o más etapas de compensación. La iniciación del flujo de gas desde el extremo de alimentación del lecho durante la etapa de despresurización, o desorción, se indica en 210, y de alguna manera se indica esquemáticamente, la caída de presión relativamente rápida. La velocidad de disminución puede variar de modalidad a modalidad, tal como en respuesta a tales factores como la presión dentro del lecho, el volumen de gas en el lecho, la velocidad del flujo del gas desde el lecho, etc. En la Figura 12, y las Figuras 13-15 descritas posteriormente los gráficos se destinan para proporcionar representaciones de la presión o la velocidad del flujo de la corriente de subproducto como una función del tiempo. Debido a que los gráficos se destinan para un propósito principal de ilustración, los gráficos no se etiquetan para el tiempo y en cambio ilustran relaciones relativas entre estas variables.

Como se describió, este cambio de presión provocará que gran parte de los gases adsorbidos se desorban desde el adsorbente, y de este modo se retiren del lecho adsorbente en la corriente 76'. La corriente 76' contiene además gas de hidrógeno, el cual estaba presente en el lecho antes del comienzo de la etapa de despresurización. La presión en el lecho 100 y/o la corriente 76' continuará su disminución a medida que continúa el flujo de gas desde el lecho. En el contexto del valor combustible, el flujo de corriente inicial 76' durante la etapa de despresurización tiende a tener un valor combustible diferente al del flujo de corriente 76' a mitad de camino a través de la etapa de despresurización y al final de la etapa de despresurización. Por ejemplo, estas diferencias en el valor del combustible pueden reflejar las concentraciones relativas de gas de hidrógeno y las respectivas de los otros gases que están presentes en la corriente. De manera similar, la velocidad del flujo de la corriente 76' durante estas porciones ilustrativas de la etapa de despresurización tiende además a variar, con la velocidad del flujo que tiende a disminuir durante la etapa de despresurización.

En 212, el flujo de gas de purga, tal como en la corriente descrita previamente 156' mostrada en las Figuras 10 y 11, se inicia hacia el lecho adsorbente. Aunque no se requiera, el volumen de gas de purga suministrado a un lecho adsorbente en un ensamble PSA puede determinarse, tal como para ser un volumen de purga fijo. La presión de corriente 156' puede variar dentro del alcance de la presente descripción, pero el gas está preferentemente en o cerca de la presión dentro del lecho 100 cuando comienza la etapa de purga. El flujo de gas de purga a través de la porción adsorbente tiende a aumentar la cantidad de gases desorbidos, ya que la presión parcial de los gases desorbidos se reduce mediante el flujo de gas de purga a través de la región adsorbente y luego a partir del lecho adsorbente como parte de la corriente 76'. En 214, el flujo de gas de purga se ha detenido. En el ejemplo ilustrativo mostrado en la Figura 12, la etapa de despresurización, o de soplado, se indica como el período de tiempo entre los tiempos 212 y 210, mientras la etapa de purga se indica como el período de tiempo entre los tiempos 214 y 212. Aunque se ilustra como una transición distinta entre estas etapas, no se requiere para todas las modalidades que la despresurización del lecho se complete antes que comience el flujo de gas de purga. En cambio, está dentro del alcance de la presente descripción que la presión dentro del lecho adsorbente pueda continuar su disminución después que haya comenzado el flujo de gas de purga.

El volumen óptimo de gas de purga para un lecho adsorbente particular puede variar de acuerdo con una variedad de factores. Ejemplos ilustrativos de estos factores incluye uno o más del tipo de adsorbente que usado, la configuración del lecho adsorbente, el tamaño del lecho adsorbente, la presión del gas de purga, la composición del gas de purga y/o el gas mezclado, la presión de las corrientes (76') de escape desde el lecho adsorbido para formar la corriente de

subproducto 76, etc. Por tanto, un volumen de purga óptimo que es efectivo para un ensamble PSA particular puede no ser óptimo, o quizás incluso efectivo, para un ensamble PSA configurado y/o dimensionado de manera diferente.

El período de tiempo relativo, o relación de tiempos, entre la etapa de despresurización y la etapa de purga puede variar dentro del alcance de la presente descripción, con el ejemplo ilustrado mostrado en la Figura 12 destinado a ilustrar excepto una de muchas relaciones adecuadas. Esta relación puede expresarse como una relación de purga a soplado, cuyos ejemplos ilustrativos incluyen 1:1 a 3:1, 1.3:1 a 2.5:1, 1.6:1 a 2.3:1, 1.6:1 a 2:1, 1.6:1, 1.8:1, 2:1. 2.2:1, más de 1.5:1, más de 2:1, menos de 2.5:1, etc. Una consideración para completar el diseño con una etapa de purga más larga, la cual puede tender a aumentar la desorción y/o la regeneración del lecho, es que los ensambles PSA se adapten preferentemente al uso cíclico, continuo, con la cantidad de tiempo que un lecho particular está en el ciclo de purga y de despresurización y/o que afecta potencialmente la cantidad de tiempo que otros lechos pueden estar en la misma o en otras etapas del ciclo PSA.

La despresurización y el purgado de un lecho adsorbido puede ocurrir dentro de un período de tiempo seleccionado y/o una relación de purga a soplado mientras produce una variedad de velocidades del flujo y/o de valores de combustible para la corriente 76' y la corriente de subproducto resultante 76. Por ejemplo, cuando comienza la etapa de despresurización, el lecho adsorbente contiene aún una gran cantidad de gas de hidrógeno y está aún a una presión elevada. A medida que continúa la etapa de despresurización, disminuye la presión y el gas de hidrógeno dentro del lecho. A medida que continúa la despresurización del lecho, disminuye la velocidad del flujo de la corriente 76' a medida que disminuye la presión dentro del lecho. Antes del inicio del flujo de gas de purga hacia el lecho, el flujo de gas de escape, o de subproducto, en la corriente 76' será relativamente bajo, a medida que disminuye esta velocidad del flujo con la presión que disminuye en el lecho. Cuando el flujo de gas de purga comienza a través del lecho 100, aumentará la velocidad del flujo de la corriente 76', como también lo hará su valor combustible cuando el gas de purga sea un gas combustible, tal como un gas de hidrógeno, con un ejemplo más particular que es gas de hidrógeno purificado producido por el ensamble PSA. Cuando se completa la etapa de purga, se detiene el flujo de la corriente 76' desde ese lecho. Cuando esto ocurre, la corriente de combustible para calentar el ensamble 71 se formará mediante corrientes 76' desde uno o más de los otros lechos adsorbentes, tales como cuando los lechos se despresurizan y/o se purgan durante el ciclo PSA, y/o desde otras fuentes, tal como una corriente de combustible suplementaria.

Como se describió, cuando se regenera el adsorbente en un lecho adsorbente 100 del ensamble PSA 73, el gas de hidrógeno purificado puede usarse como una corriente de purga. Este flujo de gas de purga puede incluir la desorción de los gases adsorbidos y de este modo ayudar a la regeneración del adsorbente. Convencionalmente, el flujo de gas de purga hacia un lecho adsorbente se suministra a una velocidad constante, típicamente para un período de tiempo fijo. La Figura 13 presenta un gráfico que muestra la velocidad del flujo del gas de purga hacia un lecho adsorbente 100 como una función del tiempo. El inicio y final de la etapa de purga se indica en la Figura 13 en 212 y 214, y corresponde a los tiempos relativos y la relación purga a soplado descritos anteriormente en relación con la Figura 12.

En líneas discontinuas en la Figura 13, se muestra la velocidad del flujo del gas de purga en un ciclo PSA que usa un flujo de gas de purga constante, o fijo, hacia el lecho adsorbente. Como se indica, el gas se suministra a una velocidad constante en toda la etapa de purga, con el volumen de gas de purga suministrado al lecho adsorbente que es el producto de esta velocidad de purga fija y del período de tiempo a través del cual este gas de purga se suministra al lecho adsorbente. Aunque resulta efectivo desorber los gases adsorbidos del adsorbente en el lecho, el aumento significativo, o pulso, en la velocidad del flujo del gas en la corriente 76', el cual puede ser un gas que tiene un alto valor combustible, tiende a provocar un aumento sustancial en el flujo y/o la temperatura de la corriente de escape calentada a partir del ensamble de calentamiento. Esto, en cambio, tiende a aumentar la temperatura, potencialmente de manera rápida, de la estructura calentada por esta corriente, tal como la región productora de hidrógeno del sistema de procesamiento de combustible 64. Esto puede resultar en el sobrecalentamiento de la estructura, que puede dañar la estructura y/o perjudicar su funcionamiento. A pesar de cualquier efecto negativo potencial sobre la(s) estructura(s) calentada(s), el aumento brusco en la corriente de escape calentada puede producir gases de escape que exceden ciertos umbrales de emisión deseados, o requeridos. Por ejemplo, el contenido de monóxido de carbono de la corriente de escape calentada puede aumentar en respuesta a un aumento brusco en el flujo de combustible hacia el ensamble de calentamiento.

De manera inversa, durante la compensación y/o antes del comienzo del flujo de gas de purga desde el lecho y/o en el extremo de la etapa de purga, la corriente 76' puede no contener flujo o solamente poco flujo y el flujo que sale puede tener un valor de combustible bajo. Como resultado, el ensamble de calentamiento puede no ser capaz de mantener una llama de combustión o luz piloto sin requerir un flujo de combustible distinto de la corriente de subproducto 76. De manera similar, cuando el flujo y/o el valor combustible de la corriente 76 es bajo, la corriente de escape calentada puede no ser capaz de calentar la estructura asociada, tal como la región productora de hidrógeno 70, a una temperatura o intervalo de temperaturas deseadas. Por ejemplo, en el contexto de una región productora de hidrógeno tal como una región de reformado de vapor que preferentemente funciona dentro de un intervalo de temperaturas seleccionadas para producir gas de hidrógeno, que opera la región productora de hidrógeno a una temperatura que está por debajo (o por encima) del intervalo deseado tiende a disminuir la cantidad de gas de hidrógeno en la corriente de gas mezclado, disminuyendo por tanto la conversión, o eficiencia, del ensamble generador de hidrógeno.

Como se indica en líneas continuas en la Figura 13, está dentro del alcance de la presente descripción no usar una

velocidad del flujo de gas de purga constante. En cambio, la velocidad del flujo del gas de purga hacia el lecho adsorbente varía durante al menos porciones de la etapa de purga. En el ejemplo ilustrado, la velocidad del flujo del gas de purga comienza en menos del 50 % de la velocidad del flujo que pudiera requerirse para suministrar un volumen de gas de purga determinado en un período de tiempo determinado a una velocidad del flujo constante de gas de purga, tal como el volumen y período de tiempo representados en líneas discontinuas. La velocidad del flujo del gas de purga aumenta con el tiempo a partir de esta velocidad inicial a una velocidad del flujo máxima que excede la velocidad del flujo máxima usada en el ejemplo mostrado en líneas discontinuas en el cual se usa una velocidad del flujo de gas de purga constante a través del ciclo de purga. En el ejemplo ilustrado, la velocidad del flujo se mantiene entonces a esta velocidad del flujo máxima hasta que se detiene el flujo de gas de purga. Al final del ciclo de purga, la velocidad del flujo de la corriente 76' desde el lecho que se purga se ha detenido; sin embargo, y dentro del alcance de la presente descripción, otro lecho 100 del ensamble PSA proporciona preferentemente una corriente 76' para mantener una velocidad del flujo de la corriente de subproducto 76 sustancialmente continua, sino completamente continua, al ensamble de calentamiento, con esta corriente que tiene preferentemente una velocidad del flujo suficiente y/o un flujo de calentamiento para satisfacer los requerimientos de combustible del ensamble de calentamiento 71 y/o para mantener un proceso de combustión continua en el ensamble de calentamiento.

Como las variaciones del ejemplo ilustrado, la velocidad inicial de flujo del gas de purga puede comenzar en 10-75 % de la velocidad del flujo promedio que se usaría en un perfil de flujo constante durante todo el período de tiempo seleccionado para la etapa de purga, y luego aumentar hacia al menos la velocidad del flujo de purga promedio durante los primeros 10-60 % del ciclo de purga. Después de esto, la velocidad del flujo continuará en aumento más allá de la velocidad del flujo de purga promedio para un intervalo de 10-100 % de la etapa de purga, y opcionalmente 25-100 % de la etapa de purga. Por ejemplo, la velocidad del flujo del gas de purga puede aumentar a al menos 125 %, 150 %, 125-200 %, etc. de la velocidad del flujo promedio que se requeriría para un volumen de gas de purga fijo durante el período de tiempo seleccionado para la etapa de purga. Está dentro del alcance de la presente descripción que puedan usarse otros perfiles, o rampas de la velocidad del flujo del gas de purga, incluyendo los perfiles en los que la velocidad del flujo del gas de purga durante al menos una porción, o subconjunto, de la etapa de purga aumenta o disminuye acuerdo con una o más cantidades lineales, no lineales y/o escalonadas, o incrementales. Los ejemplos ilustrativos de otros perfiles de velocidades del flujo de gas de purga a través de un lecho adsorbente se muestran en la Figura 14. Como se muestra en la Figura 15, está dentro del alcance de la presente descripción que el perfil de las velocidades del flujo del gas de purga pueda incluir una porción de flujo reducido, tal como durante el último 5-50 % de la etapa de purga.

Puede usarse cualquier método o mecanismo adecuado para regular el flujo de gas de purga hacia los lechos adsorbentes. Un ejemplo ilustrativo, no exclusivo es el uso de un controlador para accionar selectivamente las válvulas controladoras de flujo adecuadas para producir las velocidades del flujo adecuadas. Como se describió, puede usarse cualquier tipo y número adecuado de válvulas, y está dentro del alcance de la presente descripción usar un tipo y/o combinación diferente de válvulas para regular el flujo de gas desde el lecho adsorbente durante la etapa de despresurización que se usa durante la etapa de purga. Está además dentro del alcance de la presente descripción que puede usarse selectivamente la válvula o ensamble de válvulas que regula el flujo de gas que formará la corriente 76', tal como en respuesta a señales de control desde un controlador, para regular la velocidad del flujo de este gas para ajustar la velocidad del flujo y/o el valor combustible de la corriente de subproducto que se suministra al ensamble de calentamiento.

Preferentemente, la etapa de purga en ascenso, o por niveles, como se usa mediante el ensamble PSA durante el ciclo PSA produce una corriente de subproducto que, cuando se suministra como una corriente de combustible al ensamble de calentamiento, es constante, o dentro de un intervalo seleccionado, de una velocidad del flujo determinada, o seleccionada, tal como +/- 5 %, 10 %, 15 %, 20 %, 30 %, etc. de una velocidad del flujo seleccionada. En algunas modalidades, la velocidad del flujo seleccionada corresponde a una velocidad del flujo que produce una corriente de escape calentada adaptada para mantener la región productora de hidrógeno del sistema de procesamiento de combustible a una temperatura deseada y/o dentro de un intervalo de temperatura deseado, tal como los descritos anteriormente. Adicional o alternativamente, la etapa de purga puede adaptarse para producir durante el ciclo PSA un flujo de corriente de subproducto al ensamble de calentamiento que está dentro de un intervalo de tiempo seleccionado, o constante, de un valor combustible determinado, o seleccionado, tal como +/-5 %, 10 %, 15 %, 20 %, 30 %, etc. de un valor combustible seleccionado. Las corrientes de subproductos preferentemente mantienen cualquiera o ambas de las relaciones descritas anteriormente a una velocidad del flujo seleccionada y/o un valor combustible durante al menos una porción sustancial, y aún con mayor preferencia todos del período de tiempo en el cual el ensamble PSA se usa para producir corriente del hidrógeno producto 42. Cuando la corriente de subproducto no alcanza continuamente cualquiera o ambos de los criterios descritos anteriormente, está dentro del alcance de la descripción que ésta puede hacerlo para al menos 80 %, al menos 90 %, al menos 95 %, o más del ciclo.

En algunas modalidades, el valor combustible seleccionado, como se asocia con la velocidad del flujo de corriente 76, produce una corriente de escape calentada adaptada para mantener la región productora de hidrógeno del sistema de procesamiento de combustible a una temperatura deseada y/o dentro de un intervalo de temperatura deseado, tal como los descritos anteriormente. Por ejemplo, la corriente de escape calentada puede adaptarse para mantener la región productora de hidrógeno, la cual en algunas modalidades puede denominarse como una región de reformado, del ensamble generador de hidrógeno a una temperatura relativamente constante, tal como una temperatura en el intervalo de 375-425 °C, 400-425 °C y/o 400-450 °C para metanol o materias primas similares que contienen carbono y una

temperatura en el intervalo de 750-850 °C, y preferentemente 775-825 °C, 800-850 °C, y/o 800-825 °C para gas natural, propano y materias primas similares que contienen carbono.

5 Aunque no se requiera, un beneficio del aumento gradual, o del aumento incremental de la velocidad del flujo del gas de purga hacia el lecho adsorbente es que se evita un aumento brusco en la velocidad del flujo de la corriente 76 hacia el ensamble de calentamiento. Tal aumento brusco puede tender a producir a una corriente de escape calentada que tiene una concentración de al menos un componente, tal como monóxido de carbono, que excede un valor umbral seleccionado, tal como 50 ppm o más. Preferentemente, la etapa de purga en ascenso de la presente descripción se adapta para producir una corriente de escape calentada que a través del ciclo PSA tiene una concentración de monóxido de carbono de menos de 50 ppm, y preferentemente, menos de 25 ppm, menos de 10 ppm, o incluso menos de 5 ppm.

15 Ejemplos ilustrativos, no exclusivos de implementaciones de los sistemas y métodos para ascender, separar en niveles o de otra manera regular el flujo de gas de purga hacia los lechos adsorbentes de un ensamble de adsorción con oscilación de presión incluye, pero no se limita a, una o más de las siguientes implementaciones, las cuales pueden implementarse en uno o más de un ensamble PSA; un ensamble PSA adaptado para purificar el gas de hidrógeno; un ensamble generador de hidrógeno que incluye un procesador combustible adaptado para producir una corriente de gas mezclado que contiene gas de hidrógeno como su componente mayoritario y otros gases, y un ensamble PSA adaptado para producir una corriente del hidrógeno producto desde la corriente de gas mezclado; un sistema de celda de combustible que contiene una pila de celdas de combustible, un ensamble PSA purificador de hidrógeno y una fuente de gas de hidrógeno que se purifica mediante el ensamble PSA (con la fuente que incluye opcionalmente un procesador combustible, y en algunas modalidades un reformador de vapor); un ensamble generador de hidrógeno que incluye una región productora de hidrógeno adaptada para producir una corriente de gas mezclado que contiene gas de hidrógeno como su componente mayoritario y otros gases, un ensamble PSA adaptado para eliminar impurezas (que incluye monóxido de carbono) de la corriente de gas mezclado (y opcionalmente una pila de celdas de combustible adaptadas para recibir al menos una porción de la corriente de gas mezclado purificado), y un ensamble de calentamiento adaptado para combustionar la corriente de subproducto para calentar al menos la región productora de hidrógeno, con la región productora de hidrógeno que es opcionalmente una región de reformado de vapor o autotérmica:

20 Regular el suministro de gas de purga hacia los lechos adsorbentes para mantener la velocidad del flujo de la corriente de subproducto dentro de +/- 5 %, 10 %, 15 %, 20 %, 30 %, etc. de una velocidad del flujo seleccionada;

35 Regular el suministro de gas de purga hacia los lechos adsorbentes para mantener el valor combustible de la corriente de subproducto dentro de +/- 5 %, 10 %, 15 %, 20 %, 30 %, etc. de un valor combustible seleccionado;

Suministrar un volumen de gas de purga determinado a un lecho adsorbente durante un período de tiempo determinado a una velocidad del flujo que varía;

40 Aumentar progresivamente la velocidad del flujo de gas de purga hacia un lecho adsorbente durante un porcentaje inicial del ciclo de purga, y opcionalmente mantener y/o disminuir la velocidad del flujo durante un porcentaje posterior del ciclo de purga;

45 Suministrar inicialmente la velocidad del flujo del gas de purga hacia un lecho adsorbente a una velocidad del flujo de menos del 75 %, y opcionalmente 50 % o menos de la velocidad del flujo promedio del gas de purga que se suministrará durante la etapa de purga de un ciclo PSA, y después de esto aumentar la velocidad del flujo del gas de purga a una velocidad mayor que la velocidad del flujo promedio de gas de purga suministrado durante la etapa de purga;

50 Después de iniciar el flujo del volumen de gas de purga, aumentar selectivamente y/o disminuir la velocidad del flujo de gas de purga durante el período de tiempo, y opcionalmente disminuir posteriormente y/o aumentar la velocidad del flujo de gas de purga durante el período de tiempo de manera que el volumen de gas de purga determinado se suministra durante el período de tiempo determinado;

55 Regular la velocidad del flujo de gas de purga hacia los lechos adsorbentes de un ensamble PSA para mantener la concentración de monóxido de carbono en una corriente de escape calentada producida al hacer combustionar la corriente de subproducto desde el ensamble PSA por debajo de un umbral seleccionado, tal como 50 ppm, 25 ppm, 10 ppm, 5 ppm, o menos;

60 Distribuir selectivamente un volumen de gas de purga a los lechos adsorbentes en respuesta a un perfil de flujo predeterminado que tiene al menos una porción en la cual la velocidad del flujo del gas de purga es menor que una velocidad del flujo promedio del gas de purga suministrado durante la etapa de purga, y al menos una porción en la cual la velocidad del flujo del gas de purga es mayor que la velocidad del flujo promedio del gas de purga suministrado durante la etapa de purga;

65 Regular la velocidad del flujo del gas de purga hacia los lechos adsorbentes de un ensamble PSA para mantener la concentración de al menos un componente de una corriente de escape calentada producida al hacer combustionar la corriente de subproducto desde el ensamble PSA por debajo de un valor umbral seleccionado;

- Suministrar selectivamente gas de purga a los lechos adsorbentes de un ensamble PSA en un perfil bajo variable en el cual la velocidad del flujo del gas de purga se ajusta para mantener la velocidad del flujo del gas desde el ensamble PSA a un ensamble de calentamiento en o dentro de un intervalo determinado de un valor umbral;
- 5 Suministrar selectivamente gas de purga a los lechos adsorbentes de un ensamble PSA en un perfil de flujo variable en el cual la velocidad del flujo del gas de purga se ajusta para mantener el valor combustible y la velocidad del flujo del gas desde el ensamble PSA a un ensamble de calentamiento en o dentro de un intervalo determinado de un valor umbral;
- 10 Regular la velocidad del flujo del gas de purga a los lechos adsorbentes de un ensamble PSA para mantener la temperatura de una región productora de hidrógeno de un sistema de procesamiento de combustible que se calienta mediante una corriente de escape calentada producida mediante la combustión de la corriente de subproducto del ensamble PSA dentro de un intervalo de temperatura de 100 °C, y preferentemente 50 °C, o menos;
- 15 Regular la velocidad del flujo del gas de purga hacia los lechos adsorbentes de un ensamble PSA para proporcionar un flujo de corriente de subproducto suficiente para mantener la temperatura de la región productora de hidrógeno dentro de un intervalo de temperatura seleccionado y/o sobre un valor umbral seleccionado cuando se calienta mediante una corriente de escape calentada producida al hacer combustionar la corriente de subproducto;
- 20 Regular la velocidad del flujo del gas de purga a los lechos adsorbentes de un ensamble PSA para mantener un flujo continuo de la corriente de subproducto a un ensamble de calentamiento adaptado para usar la corriente de subproducto como una corriente de combustible;
- 25 Regular la velocidad del flujo del gas de purga hacia un lecho adsorbente de un ensamble PSA de acuerdo con un perfil de flujo no lineal, y opcionalmente de acuerdo con un perfil que incluye uno o más cambios incrementales en el flujo, cambios escalonados en el flujo, y cambios no lineales en el flujo;
- 30 Cualquiera de los sistemas o métodos implementados con un ensamble PSA que tiene una pluralidad de lechos adsorbentes adaptados una corriente de gas mezclado que incluye gas de hidrógeno como su componente mayoritario y el cual se produce mediante un sistema de procesamiento de combustible que incluye al menos una región de reformado adaptada para producir la corriente de gas mezclado mediante el reformado con vapor de agua y una materia prima que contiene carbono, con al menos la(s) región(es) de reformado del sistema de procesamiento de combustible adaptadas para calentarse mediante un ensamble de calentamiento, con el ensamble PSA adaptado para proporcionar al menos una corriente de combustible al ensamble de calentamiento, y opcionalmente en combinación adicional con una pila de celdas de combustible adaptadas para recibir al menos una porción del gas de hidrógeno purificado producido por el ensamble PSA;
- 35 Los métodos para implementar los procesos de cualquiera de los sistemas anteriores y/o el uso de cualquiera de los sistemas anteriores;
- 40 Un sistema de control adaptado para controlar el funcionamiento de un ensamble PSA y/o un ensamble generador de hidrógeno asociado para implementar cualquiera de los métodos o sistemas de control anteriores.
- 45 Aplicabilidad industrial
- Los ensambles de adsorción con oscilación de presión y de generación de hidrógeno y/o los sistemas de celdas de combustible que incluyen los mismos pueden aplicarse para la generación de gas y los campos de celdas de combustible, que incluyen tales campos en el cual el gas de hidrógeno se genera, se purifica y/o se consume para producir una corriente eléctrica.
- 50 Se piensa que la descripción descrita anteriormente abarca múltiples distintas invenciones con utilidades independientes. Aunque cada una de estas invenciones se ha descrito en su forma preferida, sus modalidades específicas como se describe y se ilustra en la presente descripción no se consideran en un sentido limitante ya que son posibles numerosas variaciones. El objeto de las invenciones incluye todas las combinaciones novedosas y no obvias y las subcombinaciones de los diversos elementos, características, funciones y/o propiedades descritas en la presente descripción. De manera similar, cuando las reivindicaciones de refieren a "un" o "un primer" elemento de sus equivalentes, debería entenderse que tales reivindicaciones incluyen la incorporación de uno o más de tales elementos, sin que requieran o excluyan dos o más de tales elementos.
- 60 Resumen de la descripción
- La presente descripción se dirige a ensambles PSA con sistemas de control de purga, así como también a ensambles generadores de hidrógeno y/o sistemas de celdas de combustible que contienen el mismo, y a métodos para operar los mismos. Los ensambles PSA incluyen al menos un lecho adsorbente, y típicamente una pluralidad de lechos adsorbentes, que incluyen una región adsorbente que incluye un adsorbente adaptado para eliminar impurezas de una
- 65

corriente de gas mezclado que contiene gas de hidrógeno como componente mayoritario y otros gases. La corriente de gas mezclado puede producirse mediante una región productora de hidrógeno de un sistema de procesamiento de combustible, y el ensamble PSA puede producir una corriente del hidrógeno producto que se consume mediante una pila de celdas de combustible para proporcionar un sistema de celdas de combustible que produce energía eléctrica. El
5 ensamble PSA produce una corriente de subproducto que contiene impurezas eliminadas de la corriente de gas mezclado y un gas de purga, el cual puede ser gas de hidrógeno, y un ensamble de calentamiento puede adaptarse para recibir la corriente de subproducto como una corriente de combustible para generar una corriente de escape calentada. La corriente de escape calentada puede adaptarse para calentar al menos la región productora de hidrógeno de un sistema de procesamiento de combustible, tal como para mantener la región a una temperatura adecuada o
10 dentro de un intervalo de temperatura adecuado para producir la corriente de gas mezclado. El ensamble PSA se adapta para regular el flujo de gas de purga a los lechos adsorbentes durante las etapas de purga de un ciclo PSA. En algunas modalidades, el gas de purga se suministra selectivamente de acuerdo con un perfil predeterminado, no constante. En algunas modalidades el perfil incluye una velocidad del flujo inicial menor que la velocidad del flujo promedio del gas de purga, y al menos una velocidad del flujo posterior mayor que la velocidad del flujo promedio. En
15 algunas modalidades, el flujo de gas de purga se regula para mantener la velocidad del flujo y/o el valor de combustible de la corriente de subproducto en o dentro de un intervalo determinado de un valor umbral. En algunas modalidades, el flujo de gas de purga se regula para limitar la concentración de monóxido de carbono a una corriente de escape regulada producida a partir de la corriente de subproducto. En algunas modalidades, el ensamble PSA incluye un controlador adaptado para regular el funcionamiento de al menos el ensamble PSA.
20

Reivindicaciones

1. Un ensamble generador de hidrógeno (46), que comprende:
5 un sistema de procesamiento de combustible (64) que incluye al menos una región productora de hidrógeno (70) adaptada para recibir al menos una corriente de alimentación (68) y para producir una corriente de gas mezclado (74) que contiene gas de hidrógeno y otros gases del mismo;
un ensamble de adsorción con oscilación de presión (73) adaptado para recibir la corriente de gas mezclado (74) y para producir una corriente del hidrógeno producto (42) que contiene al menos sustancialmente gas de hidrógeno puro y que tiene una concentración reducida de otros gases diferentes a la corriente de gas mezclado (74), y para producir una corriente de subproducto (76) que contiene al menos una porción sustancial de los otros gases, en donde el ensamble de adsorción de presión oscilante (73) incluye una pluralidad de lechos adsorbentes (100) adaptados para separar la corriente de gas mezclado (74) en corrientes que forman la corriente del hidrógeno producto(42) y la corriente de subproducto (76);
10 un ensamble de calentamiento (71) adaptado para recibir y hacer combustionar la corriente de subproducto (76) para producir una corriente de escape calentada (88) adaptada para calentar al menos la región productora de hidrógeno (70); y
medios para regular la velocidad del flujo de un gas de purga a los lechos adsorbentes (100) para producir un flujo suficiente de gas subproducto (76) para mantener la temperatura de la región productora de hidrógeno (70) dentro de un intervalo de temperatura determinado para producir la corriente de gas mezclado (74).
20
2. El ensamble generador de hidrógeno de acuerdo con la reivindicación 1, en donde la región productora de hidrógeno (70) incluye una región de reformado de vapor adaptada para producir la corriente de gas mezclado (74) a partir del agua (80) y una materia prima que contiene carbono (82).
- 25 3. El ensamble generador de hidrógeno de acuerdo con la reivindicación 2, en donde el intervalo de temperatura determinado es 725-825 °C.
4. El ensamble generador de hidrógeno de acuerdo con la reivindicación 2, en donde el intervalo de temperatura determinado es 375-450 °C.
30
5. El ensamble generador de hidrógeno de acuerdo con la reivindicación 1, en donde el medio regulador se adapta para regular la velocidad del flujo del gas de purga a los lechos adsorbentes del ensamble PSA (73) para mantener la concentración de monóxido de carbono en la corriente de escape calentada (88) por debajo de 50 ppm.
35
6. El ensamble generador de hidrógeno de acuerdo con la reivindicación 1, en donde la corriente de subproducto se produce en una etapa de purga en ascenso o por niveles y la velocidad del flujo de la corriente de subproducto está dentro de un intervalo seleccionado de una velocidad del flujo determinada.
- 40 7. El ensamble generador de hidrógeno de acuerdo con la reivindicación 1, en donde el medio para la regulación incluye selectivamente suministrar una corriente de purga a los lechos adsorbentes (100) de acuerdo con un perfil de flujo variable.
- 45 8. El ensamble generador de hidrógeno de acuerdo con la reivindicación 7, en donde el perfil incluye una porción inicial en la cual el gas de purga se suministra a una velocidad del flujo menor que una velocidad del flujo promedio para el gas de purga a través de los lechos adsorbentes (100), y además en donde el perfil incluye una porción posterior en la cual el gas de purga se suministra a una velocidad del flujo mayor que la velocidad del flujo promedio para el gas de purga a través de los lechos adsorbentes (100).
- 50 9. El ensamble generador de hidrógeno de acuerdo con la reivindicación 1, en donde el medio para regular la velocidad del flujo del gas de purga comprende un medio para suministrar un volumen determinado del gas de purga al lecho adsorbente durante un período de tiempo determinado a una velocidad del flujo que varía y en donde el medio para el suministro se adapta para aumentar selectivamente la velocidad del flujo del gas de purga durante el período de tiempo determinado después que se ha iniciado el flujo del volumen del gas de purga.
55
10. El ensamble generador de hidrógeno de acuerdo con la reivindicación 1, en donde el medio para la regulación incluye medios para regular el valor del combustible de la corriente de subproducto (76).
- 60 11. El ensamble generador de hidrógeno de acuerdo con la reivindicación 1, en combinación con una pila de celdas de combustible (24) adaptada para recibir al menos una porción de la corriente del hidrógeno producto (42).
- 65 12. Un método para regular la temperatura de una región productora de hidrógeno (70) de un sistema de procesamiento de combustible (64) adaptado para producir una corriente de gas mezclado (74) que contiene gas de hidrógeno y otros gases, el método comprende:

producir una corriente de gas mezclado que contiene gas de hidrógeno y otros gases en una región productora de hidrógeno calentada (70) de un sistema de procesamiento de combustible (64);
 suministrar la corriente de gas mezclado (74) a un ensamble de adsorción con oscilación de presión (73) que
 5 tiene una pluralidad de lechos adsorbentes (100) que contiene un adsorbente y se adapta para producir una corriente de subproducto (76) que contiene al menos una porción sustancial de los otros gases y una corriente del hidrógeno producto(42) que contiene una mayor concentración de gas de hidrógeno que la corriente de gas mezclado (74);
 adsorber los otros gases a partir de la corriente de gas mezclado (74) para producir una corriente del hidrógeno
 10 producto(42) que contiene una mayor concentración de gas de hidrógeno que la corriente de gas mezclado (74);
 despresurizar los lechos adsorbentes (100) para facilitar la desorción de los otros gases a partir del adsorbente;
 purgar los lechos adsorbentes (100) con un flujo de gas de purga para facilitar además la desorción de los otros gases, en donde las etapas de despresurización y purgado producen corrientes de gases a partir de las cuales se forma la corriente de subproducto (76);
 15 hacer combustionar la corriente de subproducto (76) con aire (90) en un ensamble de calentamiento adaptado para producir una corriente de escape calentada (88);
 calentar la región productora de hidrógeno (70) del sistema de procesamiento de combustible (64) con la corriente de escape calentada (88); y
 regular la velocidad del flujo del gas de purga a los lechos adsorbentes (100) para producir un flujo de gas de subproducto suficiente (76) para mantener la región productora de hidrógeno (70) dentro de un intervalo de
 20 temperatura determinado para producir la corriente de gas mezclado (74).

13. El método de acuerdo con la reivindicación 12, en donde la regulación incluye ascender la velocidad del flujo del gas de purga de los lechos adsorbentes (100).
- 25 14. El método de acuerdo con la reivindicación 12, en donde el método incluye regular el flujo de gas de purga a los lechos adsorbentes (100) para producir un flujo continuo de la corriente de subproducto (76).
15. El método de acuerdo con la reivindicación 12, en donde la regulación incluye suministrar la velocidad del flujo del gas de purga a una velocidad inicial de flujo del gas de purga menor que 75 % de una velocidad del flujo promedio del gas de purga y después de esto aumentar la velocidad del flujo del gas de purga.
- 30 16. El método de acuerdo con la reivindicación 12, en donde la regulación incluye controlar el valor combustible de la corriente de subproducto (76).
- 35 17. El método de acuerdo con la reivindicación 12, en donde la región productora de hidrógeno incluye una región de reformado adaptada para producir la corriente de gas mezclado (74).
18. El método de acuerdo con la reivindicación 17, en donde la región productora de hidrógeno (70) incluye una región de reformado de vapor adaptada para producir la corriente de gas mezclado (74) a partir de agua (80) y un alcohol y además en donde el intervalo de temperatura determinado es 350-450 °C.
- 40 19. El método de acuerdo con la reivindicación 17, en donde la región productora de hidrógeno incluye una región de reformado de vapor adaptada para producir la corriente de gas mezclado (74) a partir de agua (80) y un hidrocarburo y además en donde el intervalo de temperatura determinado es 700-800 °C.

Figura 1

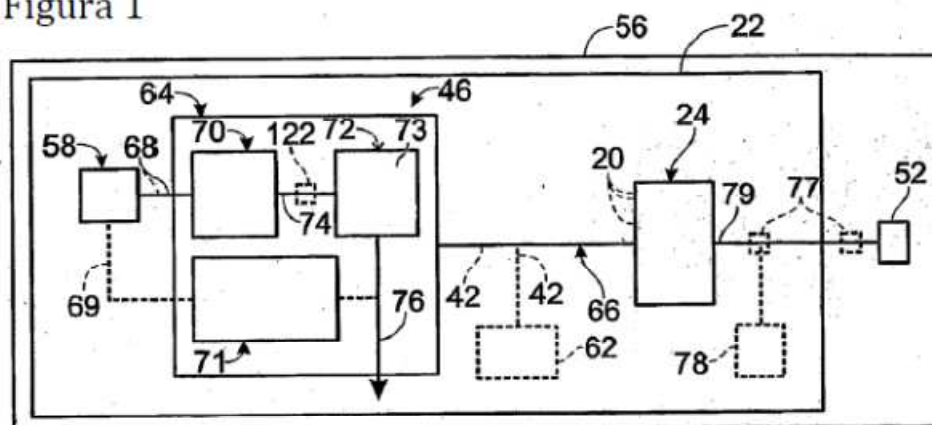


Figura 3

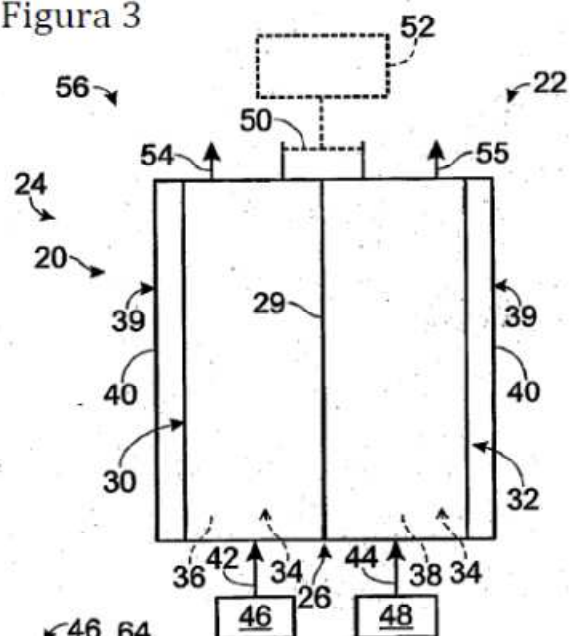


Figura 2

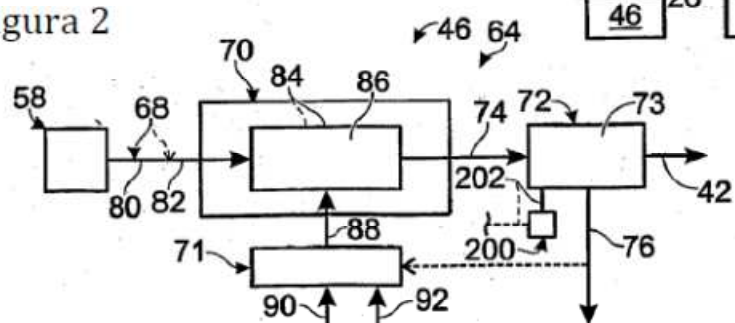


Figura 4

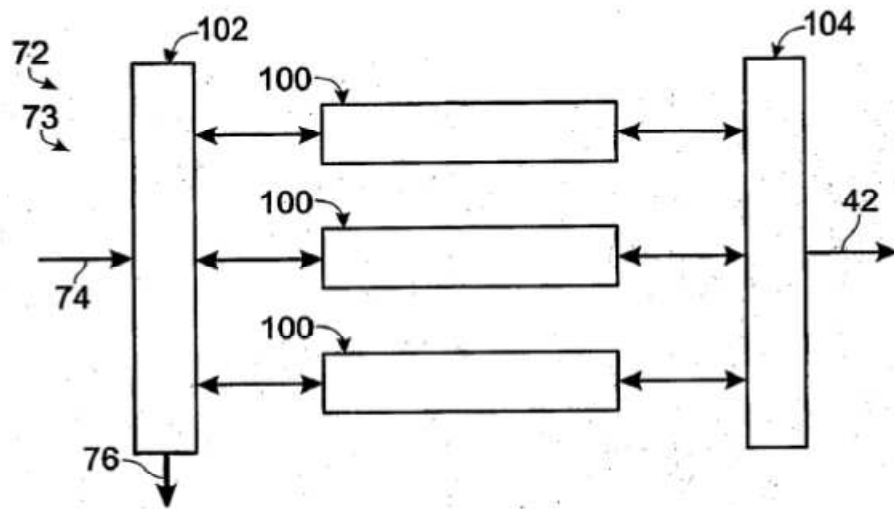


Figura 5

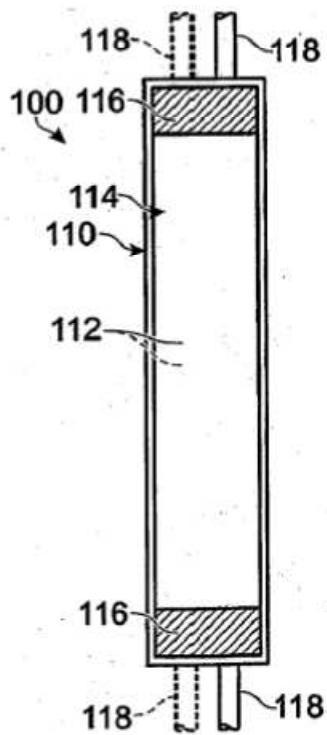


Figura 6

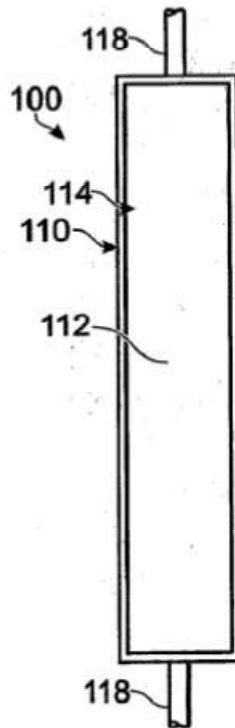


Figura 7

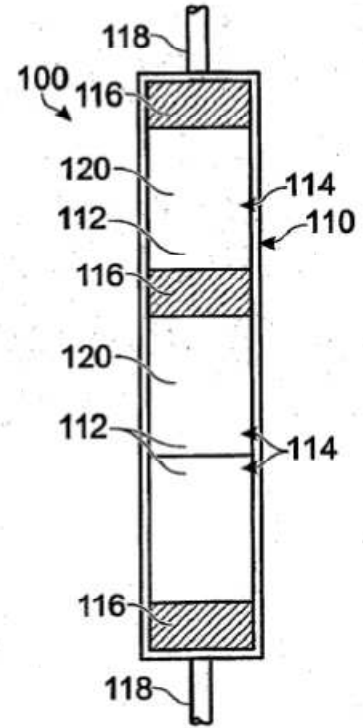


Figura 8

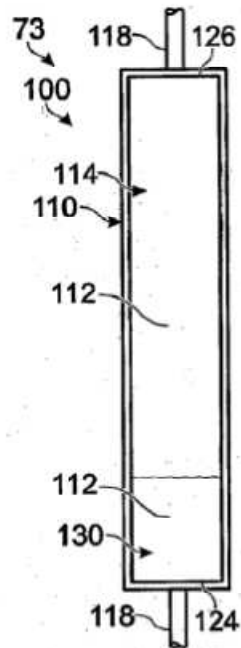


Figura 9

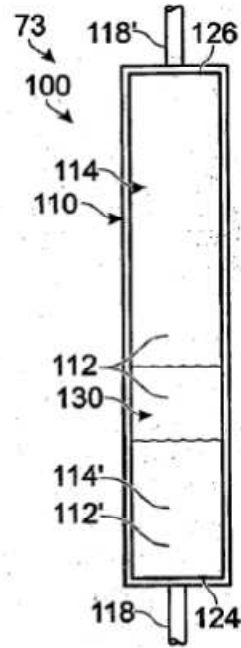


Figura 12

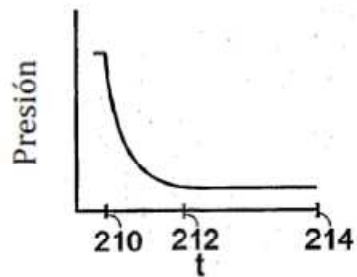


Figura 14

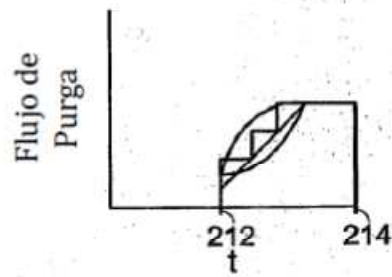


Figura 13

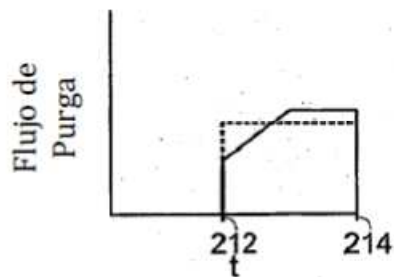


Figura 15

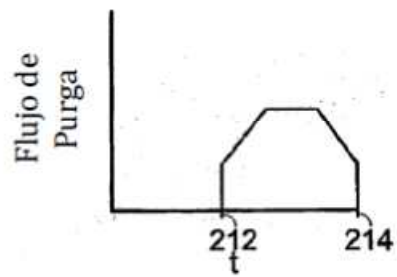


Figura 10

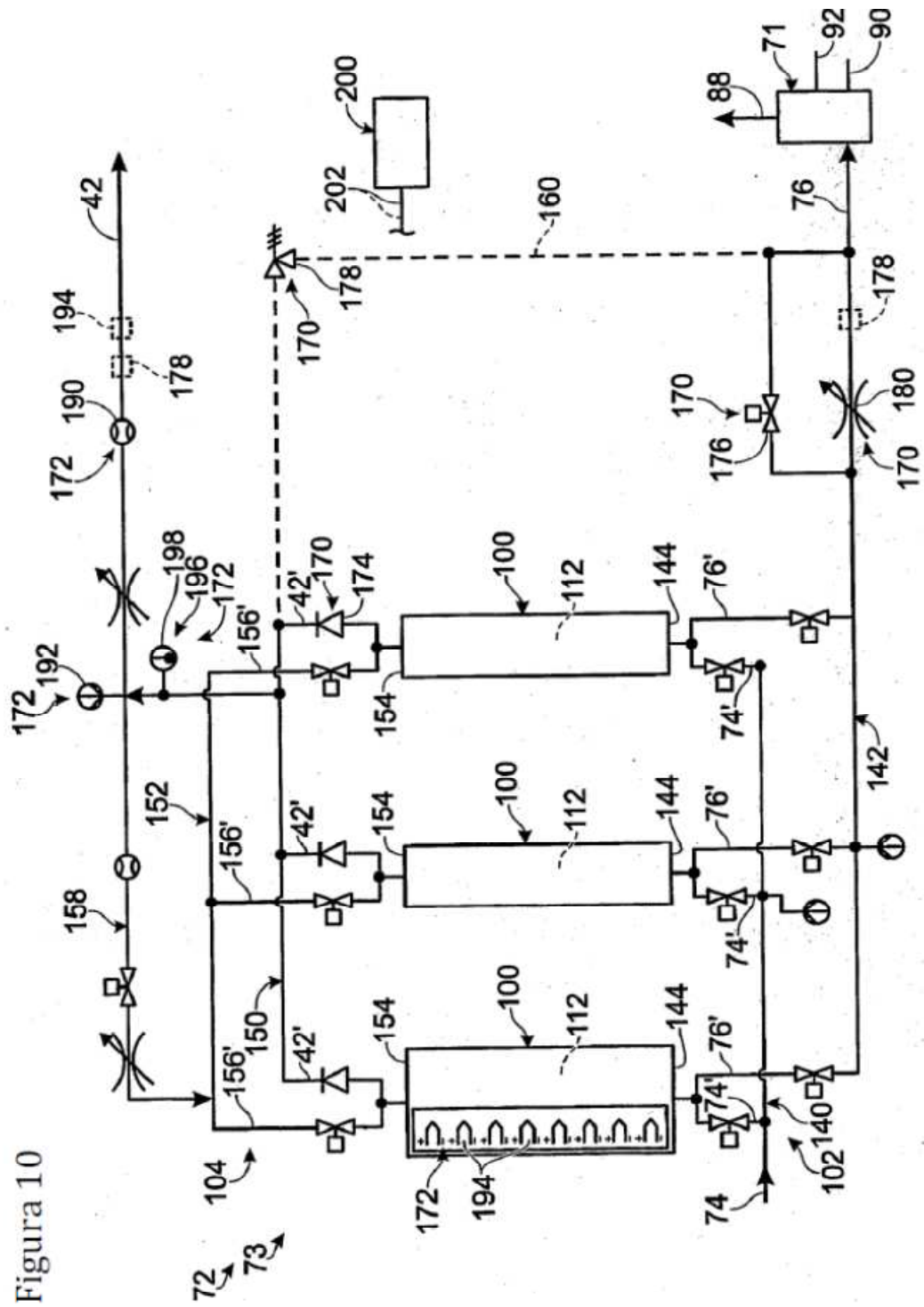


Figura 11

