

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 733 017**

51 Int. Cl.:

B01D 53/22	(2006.01)
B01D 71/02	(2006.01)
C01B 3/50	(2006.01)
B01J 8/00	(2006.01)
B01D 63/06	(2006.01)
B01D 63/08	(2006.01)
C01B 3/38	(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **26.03.2002 PCT/US2002/09351**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **03.04.2003 WO03026776**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **26.03.2002 E 02731167 (9)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **17.04.2019 EP 1441837**

54 Título: **Uso de medios para soportar una membrana selectiva de hidrógeno para evitar la formación de arrugas de dicha membrana**

30 Prioridad:

27.09.2001 US 967172
04.02.2002 US 67275
28.02.2002 US 86680

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
27.11.2019

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

EDLUND, DAVID, J.;
HILL, CHARLES, R.;
PLEDGER, WILLIAM, A. y
STUDEBAKER, TODD, R.

74 Agente/Representante:

SÁEZ MAESO, Ana

ES 2 733 017 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

Uso de medios para soportar una membrana selectiva de hidrógeno para evitar la formación de arrugas de dicha membrana

5

Antecedentes de la invención

El hidrógeno purificado se usa en la fabricación de muchos productos, que incluyen metales, grasas y aceites comestibles, y semiconductores y microelectrónicos. El hidrógeno purificado es también una importante fuente de combustible para muchos dispositivos de conversión de energía. Por ejemplo, las células de combustible usan hidrógeno purificado y un oxidante para producir un potencial eléctrico. Pueden usarse varios procesos y dispositivos para producir el gas hidrógeno que consumen las células de combustible. Sin embargo, muchos procesos de producción de hidrógeno producen una corriente de hidrógeno impuro, que también puede denominarse como una corriente de gas mixto que contiene gas hidrógeno. Antes de entregar esta corriente a una célula de combustible o pila de células de combustible, la corriente de gas mixto puede purificarse, tal como para eliminar las impurezas indeseables.

El documento WO0170376 describe los módulos de membrana que contienen una o más membranas selectivas de hidrógeno, métodos para preparar las mismas, y sistemas de purificación de hidrógeno, procesadores de combustible y dispositivos que contienen las mismas. Los módulos de membrana pueden incluir una o más membranas selectivas de hidrógeno soportadas en una estructura de pantalla. La membrana o membranas pueden montarse de manera adhesiva en la estructura de pantalla durante el ensamble. La estructura de pantalla puede incluir una pluralidad de miembros de pantalla montados de manera adhesiva juntos durante el ensamble. La estructura de pantalla puede incluir un recubrimiento.

El documento US5376167 describe un dispositivo para separar el hidrógeno de mezclas gaseosas que lo contienen o para purificar hidrógeno gaseoso, que comprende una cubierta exterior (2) llena con una pluralidad de tubos (3) hechos de una aleación a base de paladio adecuada, cuyos tubos están cerrados en un extremo (4). Los tubos se fijan de manera sustancialmente hermética, en el lado del extremo abierto (5), a al menos una parte de una base (6) hecha de una aleación metálica, cuya composición es de manera que su coeficiente de expansión en hidrógeno es sustancialmente igual a la de la aleación de los tubos. La base puede formarse integralmente y fabricarse de la aleación mencionada anteriormente, o puede comprender un anillo de sustancialmente la misma composición que la de los tubos que se adhieren a la misma por medio de una soldadura autógena.

Resumen de la invención

35

La presente invención se refiere a un uso, para evitar la formación de arrugas de al menos una membrana selectiva de hidrógeno (46, 202) en un dispositivo de purificación de hidrógeno (10) que comprende un recinto (12) que define un compartimiento interno (18) y contiene una unidad de separación (20), que divide el compartimiento interno en una región de gas mixto (30) y una región de permeado (32), el dispositivo de purificación de hidrógeno que se adapta para recibir una corriente de gas mixto (24) que contiene gas hidrógeno (26) y otros gases (28) y para producir una corriente (34), que contiene gas hidrógeno puro o al menos sustancialmente puro, en donde el gas hidrógeno sustancialmente puro tiene una pureza superior al 90 %, y una corriente de subproducto (36), que contiene al menos una porción sustancial de los otros gases, a partir de la misma, de medios para soportar dicha al menos una membrana (46) de los cuales significa que al menos una porción se selecciona para que tenga un coeficiente de expansión térmica que está dentro del 10 % del coeficiente de expansión térmica de al menos una membrana (46, 202).

La presente descripción proporciona, pero no reivindica, los dispositivos de purificación de hidrógeno, componentes de dispositivos de purificación de hidrógeno y sistemas de procesamiento de combustible y de célula de combustible que incluyen los dispositivos de purificación de hidrógeno. Los dispositivos de purificación de hidrógeno incluyen un recinto que contiene una unidad de separación adaptada para recibir una corriente de gas mixto que contiene gas hidrógeno y para producir una corriente que contiene gas hidrógeno puro o al menos sustancialmente puro de la misma, en donde el gas hidrógeno sustancialmente puro tiene una pureza superior al 90 %. La unidad de separación incluye al menos una membrana permeable al hidrógeno y/o selectiva de hidrógeno, y en algunas modalidades incluye al menos una envoltura de la membrana que incluye un par de regiones de membrana generalmente opuestas que definen un conducto de recolección entre las mismas y que se separan por un soporte.

Muchas otras características de la presente invención se pondrán de manifiesto para los expertos en la técnica al hacer referencia a la descripción detallada que sigue y las hojas de dibujos adjuntas en las que se describen las modalidades preferidas que incorporan los principios de esta invención como ejemplos ilustrativos solamente.

60

Breve descripción de los dibujos

La Figura 1 es una vista esquemática de un dispositivo de purificación de hidrógeno.

65

ES 2 733 017 T3

- La Figura 2 es una vista esquemática en sección transversal de un dispositivo de purificación de hidrógeno que tiene una membrana de separación plana.
- 5 La Figura 3 es una vista esquemática en sección transversal de un dispositivo de purificación de hidrógeno que tiene una membrana de separación tubular.
- La Figura 4 es una vista esquemática en sección transversal de otro dispositivo de purificación de hidrógeno que tiene una membrana de separación tubular.
- 10 La Figura 5 es una vista esquemática en sección transversal de otro recinto para un dispositivo de purificación de hidrógeno.
- La Figura 6 es una vista esquemática en sección transversal de otro recinto para un dispositivo de purificación de hidrógeno.
- 15 La Figura 7 es un detalle parcial en sección transversal que muestra otra interfaz adecuada entre los componentes de un recinto para un dispositivo de purificación.
- La Figura 8 es un detalle parcial en sección transversal que muestra otra interfaz adecuada entre los componentes de un recinto para un dispositivo de purificación.
- 20 La Figura 9 es un detalle parcial en sección transversal que muestra otra interfaz adecuada entre los componentes de un recinto para un dispositivo de purificación.
- 25 La Figura 10 es un detalle parcial en sección transversal que muestra otra interfaz adecuada entre los componentes de un recinto para un dispositivo de purificación.
- La Figura 11 es una vista en planta superior de una placa de extremo para un dispositivo de purificación de hidrógeno que incluye los que se muestran en las Figuras 1-6.
- 30 La Figura 12 es una vista en sección transversal de la placa de extremo de la Figura 11.
- La Figura 13 es una vista en planta superior de una placa de extremo para un dispositivo de purificación de hidrógeno que incluye los que se muestran en las Figuras 1-6.
- 35 La Figura 14 es una vista en sección transversal de la placa de extremo de la Figura 13.
- La Figura 15 es una vista en planta superior de una placa de extremo para un dispositivo de purificación de hidrógeno que incluye los que se muestran en las Figuras 1-6.
- 40 La Figura 16 es una vista en sección transversal de la placa de extremo de la Figura 15.
- La Figura 17 es una vista en planta superior de una placa de extremo para un dispositivo de purificación de hidrógeno que incluye los que se muestran en las Figuras 1-6.
- 45 La Figura 18 es una vista en sección transversal de la placa de extremo de la Figura 17.
- La Figura 19 es una vista en planta superior de una placa de extremo de un recinto para un dispositivo de purificación de hidrógeno que incluye los que se muestran en las Figuras 1-6.
- 50 La Figura 20 es una vista en sección transversal de la placa de extremo de la Figura 19.
- La Figura 21 es una vista en planta superior de una placa de extremo de un recinto para un dispositivo de purificación de hidrógeno que incluye los que se muestran en las Figuras 1-6.
- La Figura 22 es una vista en elevación lateral del inversor de molde de la Figura 21.
- 55 La Figura 23 es una vista isométrica de la placa de extremo de la Figura 21.
- La Figura 24 es una vista en sección transversal de la placa de extremo de la Figura 21.
- 60 La Figura 25 es una vista en elevación lateral en sección transversal parcial de un recinto para un dispositivo de purificación de hidrógeno construido con un par de las placas de extremo mostradas en las Figuras 21-24.
- La Figura 26 es una vista isométrica de otro dispositivo de purificación de hidrógeno.
- 65 La Figura 27 es una vista en sección transversal del dispositivo de la Figura 26.

La Figura 28 es una vista en elevación lateral de otra placa de extremo para un dispositivo de purificación de hidrógeno que incluye los que se muestran en las Figuras 1-6.

5 La Figura 29 es una vista en elevación lateral de otra placa de extremo para un dispositivo de purificación de hidrógeno que incluye los que se muestran en las Figuras 1-6.

La Figura 30 es una vista en elevación lateral de otra placa de extremo para un dispositivo de purificación de hidrógeno que incluye los que se muestran en las Figuras 1-6.

10 La Figura 31 es una vista en elevación lateral parcial de un par de membranas de separación separadas por un soporte.

La Figura 32 es una vista isométrica despiezada de una envoltura de la membrana que incluye un soporte en forma de una estructura de pantalla que tiene varias capas.

15 La Figura 33 es una vista isométrica despiezada de otra envoltura de la membrana.

La Figura 34 es una vista isométrica despiezada de otra envoltura de la membrana.

La Figura 35 es una vista isométrica despiezada de otra envoltura de la membrana.

20 La Figura 36 es una vista en sección transversal de una cubierta de un recinto para un dispositivo de purificación de hidrógeno con un marco de membrana ilustrativo y un módulo de membrana mostrado en líneas discontinuas.

La Figura 37 es una vista en planta superior de la placa de extremo de la Figura 13 con una membrana de separación y un marco ilustrativos que se muestran en líneas discontinuas.

25

La Figura 38 es una vista en planta superior de la placa de extremo de la Figura 21 con una membrana de separación y un marco ilustrativos mostrados en líneas discontinuas.

La Figura 39 es una vista isométrica despiezada de otro dispositivo de purificación de hidrógeno.

30

La Figura 40 es un diagrama esquemático de un sistema de procesamiento de combustible que incluye un procesador de combustible y un dispositivo de purificación de hidrógeno.

La Figura 41 es un diagrama esquemático de un sistema de procesamiento de combustible que incluye un procesador de combustible integrado con un dispositivo de purificación de hidrógeno.

35

La Figura 42 es un diagrama esquemático de otro procesador de combustible que incluye un dispositivo de purificación de hidrógeno integrado.

40

La Figura 43 es un diagrama esquemático de un sistema de célula de combustible que incluye un dispositivo de purificación de hidrógeno.

Descripción detallada y mejor modo de la invención

45 Un dispositivo de purificación de hidrógeno se ilustra esquemáticamente en la Figura 1 y generalmente se indica con 10. El dispositivo 10 incluye un cuerpo, o recinto, 12 que define un compartimiento interno 18 en el que se posiciona una unidad de separación 20. Una corriente de gas mixto 24 que contiene gas hidrógeno 26 y otros gases 28 se entrega al compartimiento interno. Más específicamente, la corriente de gas mixto se entrega a una región de gas mixto 30 del compartimiento interno y entra en contacto con la unidad de separación 20. La unidad de separación 20 incluye cualquier estructura adecuada adaptada para recibir la corriente de gas mixto y para producir a partir de la misma una corriente permeada o rica en hidrógeno. La corriente 34 típicamente contendrá gas hidrógeno puro o al menos sustancialmente puro, en donde el gas hidrógeno sustancialmente puro tiene una pureza superior al 90 %. Sin embargo, dentro del alcance de la invención, la corriente 34 puede incluir al menos inicialmente también un componente de gas portador o de barrido.

50 En la modalidad ilustrada, la porción de la corriente de gas mixto que pasa a través de la unidad de separación entra en una región de permeado 32 del compartimiento interno. Esta porción de la corriente de gas mixto forma una corriente rica en hidrógeno 34, y la porción de la corriente de gas mixto que no pasa a través de la unidad de separación forma una corriente de subproducto 36, que contiene al menos una porción sustancial de los otros gases. En algunas modalidades, la corriente de subproducto 36 puede contener una porción del gas hidrógeno presente en la corriente de gas mixto. La unidad de separación puede adaptarse para atrapar o, de cualquier otra manera, retener al menos una porción sustancial de los otros gases, que se eliminarán como una corriente de subproducto a medida que la unidad se reemplace, se regenere o de cualquier otra manera se recargue. En la Figura 1, se entiende que las corrientes 24-28 representan esquemáticamente que cada una de las corrientes 24-28 puede incluir más de una corriente real que entra o sale del dispositivo 10. Por ejemplo, el dispositivo 10 puede recibir múltiples corrientes de alimentación 24, una sola corriente 24 que se divide en múltiples corrientes antes de entrar en contacto con la unidad de separación 20, o simplemente una sola corriente que se entrega en el compartimiento 18.

65

El dispositivo 10 se hace funcionar típicamente a temperaturas y/o presiones elevadas. Por ejemplo, el dispositivo 10 puede hacerse funcionar a temperaturas (seleccionadas) en el rango de temperaturas ambiente de hasta 700 °C o más. En muchas modalidades, la temperatura seleccionada estará en el rango de 200 °C y 500 °C, en otras modalidades, la temperatura seleccionada estará en el rango de 250 °C y 400 °C y en aún otras modalidades, la temperatura seleccionada será de 400 °C \pm o bien 25 °C, 50 °C o 75 °C. El dispositivo 10 puede hacerse funcionar a presiones (seleccionadas) en el rango de aproximadamente 344,7 kPa (50 psi) y 6894,8 kPa (1000 psi) o más. En muchas modalidades, la presión seleccionada estará en el rango de 344,7 kPa (50 psi) y 1723,7 kPa (250 psi) o 3447,4 kPa (500 psi), en otras modalidades, la presión seleccionada será menor que 2068,4 kPa (300 psi) o menor que 1723,7 kPa (250 psi), y aún en otras modalidades, la presión seleccionada será de 1206,6 kPa (175 psi) \pm 172,4 kPa (25 psi), 344,7 kPa (50 psi) o 517,1 kPa (75 psi). Como resultado, el recinto debe estar lo suficientemente bien sellado para alcanzar y soportar la presión de funcionamiento.

Debe entenderse que como se usa en la presente descripción con referencia a los parámetros de funcionamiento como temperatura o presión, el término "seleccionado" se refiere a valores umbrales o rangos de valores definidos o predeterminados, con el dispositivo 10 y cualquier componente asociado que se configure para que funcione en o dentro de estos valores seleccionados. Para una ilustración adicional, una temperatura de funcionamiento seleccionada puede ser una temperatura de funcionamiento por encima o por debajo de una temperatura específica, dentro de un rango específico de temperaturas, o dentro de una tolerancia definida de una temperatura específica, tal como dentro del 5 %, 10 %, etc. de una temperatura específica.

En las modalidades en las que el dispositivo funciona a una temperatura de funcionamiento elevada, debe aplicarse calor al dispositivo para elevar la temperatura del dispositivo a la temperatura de funcionamiento seleccionada. Por ejemplo, este calor puede proporcionarse por cualquier unidad de calentamiento adecuada 42. Los ejemplos ilustrativos de la unidad de calentamiento 42 se han ilustrado esquemáticamente en la Figura 1. Debe entenderse que la unidad 42 puede tomar cualquier forma adecuada, que incluye en sí la corriente de gas mixto 24. Los ejemplos ilustrativos de otras unidades de calentamiento adecuadas incluyen uno o más de un calentador de resistencia, un quemador u otra región de combustión que produzca una corriente de escape calentada, intercambio de calor con una corriente de fluido calentado diferente a la corriente de gas mixto 24, etc. Cuando se usa un quemador u otra cámara de combustión, se consume una corriente de combustible y la corriente de subproducto 36 puede formar la totalidad o una porción de esta corriente de combustible. En 42' en la Figura 1, se han realizado representaciones esquemáticas para ilustrar que la unidad de calentamiento puede entregar el dispositivo externo de corriente de fluido calentado 10, tal como dentro de una chaqueta que rodea o rodea al menos parcialmente el recinto, por una corriente que se extiende hacia el recinto o a través de pasajes en el recinto, o mediante conducción, tal como con un calentador de resistencia eléctrica u otro dispositivo que irradia o conduce el calor generado eléctricamente.

Una estructura adecuada para la unidad de separación 20 es una o más membranas permeables al hidrógeno 46 y/o selectivas de hidrógeno. Las membranas pueden formarse por cualquier material permeable al hidrógeno adecuado para su uso en el entorno operativo y los parámetros en los que se hace funcionar el dispositivo de purificación 10. Los ejemplos de materiales adecuados para las membranas 46 incluyen paladio y aleaciones de paladio, y especialmente películas delgadas de tales metales y aleaciones de metales. Las aleaciones de paladio han demostrado ser particularmente eficaces, especialmente el paladio con 35 % en peso a 45 % en peso de cobre, tal como una membrana que contiene 40 % en peso de cobre. Estas membranas se forman típicamente a partir de una lámina delgada que tiene un grosor de aproximadamente 0,0254 mm (0,001 pulgadas). Sin embargo, está dentro del alcance de la presente invención, que las membranas puedan formarse a partir de otros materiales permeables al hidrógeno y/o selectivos al hidrógeno, que incluyen metales y aleaciones de metales diferentes a los descritos anteriormente, así como también materiales y composiciones no metálicas y que las membranas puedan tener grosores mayores o menores que los descritos anteriormente. Por ejemplo, la membrana puede hacerse más delgada, con un aumento proporcional en el flujo de hidrógeno. Los ejemplos de mecanismos adecuados para reducir el grosor de las membranas incluyen la laminación, la pulverización y el grabado. Un proceso de grabado adecuado se describe en la patente de Estados Unidos núm. 6,152,995. Ejemplos de varias membranas, configuraciones de membrana y métodos para preparar las mismas se describen en la patente de Estados Unidos núm. 6,221,117 y solicitud de patente de Estados Unidos con número de serie 09/812,499.

En la Figura 2, se muestran ejemplos ilustrativos de configuraciones adecuadas de las membranas 46. Como se muestra, la membrana 46 incluye una superficie de gas mixto 48 que se orienta para entrar en contacto con la corriente de gas mixto 24, y una superficie de permeado 50, que generalmente es opuesta a la superficie 48. En 52 también se muestran representaciones esquemáticas de sujeciones, que pueden ser cualquier estructura adecuada para soportar y/o posicionar las membranas u otras unidades de separación dentro del compartimiento 18. La patente y las solicitudes de patente citadas inmediatamente arriba también describen ejemplos ilustrativos de sujeciones adecuadas 52. En 46', la membrana 46 se ilustra como una lámina o película. En 46", la membrana se soporta por un soporte subyacente 54, tal como una malla o pantalla de metal expandido o una cerámica u otro material poroso. En 46"', la membrana se recubre o se forma sobre o de cualquier otra manera se une a un miembro poroso 56. Debe entenderse que las configuraciones de membrana descritas anteriormente se han ilustrado esquemáticamente en la Figura 2 y no pretenden representar todas las configuraciones posibles.

Por ejemplo, aunque la membrana 46 se ilustra en la Figura 2 como que tiene una configuración plana, la membrana 46 también puede tener configuraciones no planas. Por ejemplo, la forma de la membrana puede definirse, al menos en parte, por la forma de un soporte 54 o miembro 56 sobre el cual la membrana se soporta y/o se forma. Como tal, las membranas 46 pueden tener configuraciones cóncavas, convexas u otras no planas, especialmente cuando el dispositivo 10 se hace funcionar a una presión elevada. Como otro ejemplo, la membrana 46 puede tener una configuración tubular, tal como se muestra en las Figuras 3 y 4.

En la Figura 3, se muestra un ejemplo de una membrana tubular en la que la corriente de gas mixto se entrega al interior del tubo de membrana. En esta configuración, el interior del tubo de membrana define la región 30 del compartimiento interno, y la región de permeado 32 del compartimiento se encuentra fuera del tubo. En la Figura 3 se muestra un tubo de membrana adicional en líneas discontinuas para representar gráficamente que el dispositivo 10 puede incluir más de una membrana y/o más de una superficie de gas mixto 48. El dispositivo 10 también puede incluir más de dos membranas, y que la separación y/o configuración relativa de las membranas pueden variar.

En la Figura 4, se muestra otro ejemplo de un dispositivo de purificación de hidrógeno 10 que incluye membranas tubulares. En esta configuración ilustrada, el dispositivo 10 se configura de manera que la corriente de gas mixto se entrega al compartimiento 18 externo al tubo o tubos de membrana. En tal configuración, la superficie de gas mixto de un tubo de membrana es exterior a la superficie de permeado correspondiente, y la región de permeado se localiza dentro del tubo o tubos de membrana.

Las membranas tubulares pueden tener una variedad de configuraciones y construcciones, tales como las descritas anteriormente con respecto a las membranas planas mostradas en la Figura 2. Por ejemplo, los ejemplos ilustrativos de varias sujeciones 52, soportes 54 y miembros porosos 56 se muestran en las Figuras 3 y 4, que incluyen un resorte 58, que se ha ilustrado esquemáticamente. Las membranas tubulares pueden tener una configuración diferente al tubo cilíndrico recto que se muestra en la Figura 3. Ejemplos de otras configuraciones incluyen tubos en forma de U y tubos helicoidales o en espiral.

Como se describió, el recinto 12 define un compartimiento presurizado 18 en el que se posiciona la unidad de separación 20. En las modalidades mostradas en las Figuras 2-4, el recinto 12 incluye un par de placas de extremo 60 que se unen por una cubierta perimetral 62. Debe entenderse que el dispositivo 10 se ha ilustrado esquemáticamente en las Figuras 2-4 para mostrar ejemplos representativos de los componentes generales del dispositivo sin la intención de limitarse a la geometría, forma y tamaño. Por ejemplo, las placas de extremo 60 típicamente son más gruesas que las paredes de la cubierta perimetral 62, pero esto no es necesario. De manera similar, el grosor de las placas de extremo puede ser mayor que, menor que o igual que la distancia entre las placas de extremo. Como un ejemplo adicional, el grosor de la membrana 46 se ha exagerado con fines de ilustración.

En las Figuras 2-4, puede verse que la corriente de gas mixto 24 se entrega al compartimiento 18 a través de un puerto de entrada 64, la corriente rica en hidrógeno 34 (o permeada) se elimina del dispositivo 10 a través de uno o más puertos de producto 66, y la corriente de subproducto se elimina del dispositivo 10 a través de uno o más puertos de subproducto 68. En la Figura 2, se muestran los puertos que se extienden a través de varias placas de extremo para ilustrar que la localización particular en el recinto 12 desde la cual se entregan a y se eliminan las corrientes de gas del dispositivo 10 puede variar. Una o más de las corrientes pueden entregarse o retirarse a través de la cubierta 62, tal como se ilustra en líneas discontinuas en la Figura 3. Los puertos 64-68 pueden incluir o asociarse con estructuras de acoplamiento y/o reguladoras de flujo. Los ejemplos de estas estructuras incluyen una o más de las válvulas, reguladores de flujo y presión, conectores u otros accesorios y/o conjuntos de colectores que se configuran para interconectar el dispositivo 10 de manera permanente o selectivamente de manera fluida con los componentes aguas arriba y aguas abajo. Para propósitos de ilustración, estas estructuras reguladoras de flujo y/o de acoplamiento generalmente se indican en 70 en la Figura 2. Para propósitos de brevedad, las estructuras 70 no se han ilustrado en todas las modalidades. En su lugar, debe entenderse que algunos o todos los puertos para una modalidad particular del dispositivo 10 pueden incluir cualquiera o todas estas estructuras, que cada puerto no necesita tener la misma estructura 70, si la hay, y que dos o más puertos pueden, en algunas modalidades, compartir o utilizar colectivamente la estructura 70, tal como un colector común de recogida o entrega, válvula de alivio de presión, válvula de flujo de fluidos, etc.

Las placas de extremo 60 y la cubierta perimetral 62 se aseguran entre sí mediante una estructura de retención 72. La estructura 72 puede tomar cualquier forma adecuada capaz de mantener los componentes del recinto 12 juntos en una configuración hermética a los fluidos o sustancialmente hermética a los fluidos en los parámetros y condiciones de funcionamiento en las que se usa el dispositivo 10. Los ejemplos de estructuras adecuadas 72 incluyen las soldaduras 74 y los pernos 76, como se muestra en las Figuras 2 y 3. En la Figura 3, se muestran los pernos 76 que se extienden a través de las bridas 78 que se extienden desde los componentes del recinto 12 que van a unirse. En la Figura 4, se muestran los pernos 76 que se extienden a través del compartimiento 18. Debe entenderse que la cantidad de pernos puede variar, y típicamente incluirá una pluralidad de pernos o mecanismos de sujeción similares que se extienden alrededor del perímetro del recinto 18. Los pernos 76 deben seleccionarse para poder soportar los parámetros y condiciones de funcionamiento del dispositivo 10, que incluyen la tensión impartida a los pernos cuando el dispositivo 10 se presuriza.

En las mitades inferiores de las Figuras 3 y 4, se muestra que las juntas 80 ilustran que el recinto 12 puede, pero no necesariamente, incluir un miembro de sello 82 que se interconecta o abarca las superficies que van a unirse para mejorar la resistencia a la fuga del recinto. El miembro de sello debe seleccionarse para reducir o eliminar las fugas cuando se usa en los parámetros de funcionamiento y bajo las condiciones de funcionamiento del dispositivo. Por lo tanto, en muchas modalidades, deben seleccionarse sellos de alta presión y/o alta temperatura. Un ejemplo ilustrativo, no exclusivo de tal estructura de sellado es una junta de grafito, tal como la que vende Union Carbide bajo el nombre comercial GRAFOIL™. Como se usa en la presente descripción, "miembro de sello" y "miembro de sellado" se refieren a estructuras o materiales aplicados a, colocados entre, o colocados en contacto con las placas de extremo metálicas y la cubierta (o porciones de cubierta) para mejorar el sello establecido entre las mismas. Las juntas u otros miembros de sellado también pueden usarse en el compartimiento interno 18, tal como para proporcionar sellos entre membranas adyacentes, conductos de fluido, sujeciones o soportes, y/o cualquiera de los anteriores con la superficie interior del recinto 12.

En las Figuras 2-4, los recintos ilustrados incluyen un par de placas de extremo 60 y una cubierta 62. Con referencia a la Figura 4, puede verse que las placas de extremo incluyen regiones de sellado 90, que forman una interfaz 94 con una región de sellado correspondiente 92 de la cubierta 62. En muchas modalidades, la región de sellado de la placa de extremo 60 será una región perimetral, y como tal, la región de sellado 90 a menudo se denominará en la presente descripción como una región perimetral 90 de la placa de extremo. Sin embargo, como se usa en la presente descripción, la región perimetral se refiere a la región de la placa de extremo que se extiende generalmente alrededor de la región central y que forma una interfaz con una porción de la cubierta, incluso si hay porciones o bordes adicionales de la placa de extremo que se proyecta más allá de esta porción perimetral. De manera similar, la región de sellado 92 de la cubierta 62 será típicamente una región de extremo de la cubierta. En consecuencia, la región de sellado de la cubierta se denominará a menudo en la presente descripción como región de extremo 92 de la cubierta. Las placas de extremo 60 pueden tener porciones que se proyectan hacia fuera más allá de la región de sellado 90 y la interfaz 94 formada con la cubierta 62, y esa cubierta 62 puede tener regiones que sobresalgan más allá de la placa de extremo 60 y la interfaz formada con la misma. Estas porciones se ilustran en líneas discontinuas en la Figura 4 en 91 y 93 para fines de ilustración gráfica.

Como alternativa a un par de placas de extremo 60 unidas por una cubierta perimetral separada 62, el recinto 12 puede incluir una cubierta que se integre al menos parcialmente o bien con una o ambas de las placas de extremo. Por ejemplo, en la Figura 5, una porción 63 de la cubierta 62 se forma integralmente con cada placa de extremo 60. Descrito de otra manera, cada placa de extremo 60 incluye porciones de cubierta, o collares, 63 que se extienden desde la región perimetral 90 de la placa de extremo. Como se muestra, las porciones de cubierta incluyen regiones de extremo 92 que se intersecan en una interfaz 94. En la modalidad ilustrada, las regiones de extremo colindan entre sí sin una región de solapamiento; la interfaz 94 puede tener otras configuraciones, tales como las ilustradas y/o descritas posteriormente. Las regiones de extremo 92 se aseguran juntas mediante cualquier mecanismo adecuado, tal como mediante cualquiera de las estructuras de retención 72 descritas anteriormente, y pueden (pero no necesariamente) incluir un miembro de sello 82 además de las superficies en contacto de las regiones de extremo 92.

Un beneficio de que la cubierta 62 se forme de manera integral con al menos una de las placas de extremo es que el recinto tiene una interfaz menos que debe sellarse. Este beneficio puede realizarse mediante una reducción de fugas debido a la cantidad reducida de sellos que podrían fallar, menos componentes y/o un tiempo de ensamble reducido para el dispositivo 10. Otro ejemplo de tal construcción para el recinto 12 se muestra en la Figura 6, en la que la cubierta 62 se forma integralmente con una de las placas de extremo, con una porción de cubierta 63 que se extiende integralmente desde la región perimetral 90 de una de las placas de extremo. La porción de cubierta 63 incluye una región de extremo 92 que forma una interfaz 94 con la región perimetral 90 de la otra placa de extremo a través de cualquier estructura de retención adecuada 72, tal como las descritas anteriormente. La placa de extremo combinada y los componentes de cubierta mostrados en las Figuras 5 y 6 pueden formarse mediante cualquier mecanismo adecuado, que incluye el mecanizado de estos a partir de una barra sólida o bloque de material. Para propósitos de simplicidad, la unidad de separación 20 y los puertos de entrada y salida no se han ilustrado en las Figuras 5 y 6 y solo se muestran ejemplos ilustrativos, no exclusivos de la estructura de retención adecuada 72. Similar a los otros recintos ilustrados y descritos en la presente descripción, debe entenderse que las dimensiones relativas del recinto pueden variar. Por ejemplo, las porciones de cubierta 63 pueden tener longitudes que son más largas o más cortas que las ilustradas en las Figuras 5 y 6.

Antes de continuar con las configuraciones ilustrativas adicionales para las placas de extremo 60, se debe aclarar que tal como se usa en la presente descripción con relación a los recintos de los dispositivos 10, el término "interfaz" se refiere a la región de interconexión y sellado que se extiende entre las porciones del recinto 12 que se forman por separado y luego se aseguran juntos, tal como (pero no necesariamente) por una de las estructuras de retención 72 descritas anteriormente. La geometría específica y el tamaño de la interfaz 94 tenderán a variar, por ejemplo, en dependencia del tamaño, la configuración y la naturaleza de los componentes que se unen entre sí. Por lo tanto, la interfaz 94 puede incluir un sello de metal sobre metal formado entre las regiones de extremo correspondientes y las regiones perimetrales, un sello de metal sobre metal formado entre pares correspondientes de regiones de extremo, un sello de metal-junta-metal (u otro miembro de sello 82), etc. De manera similar, la interfaz puede tener una variedad de formas, que incluyen configuraciones lineales, arqueadas y rectilíneas que se definen en gran medida por la forma y la posición relativa de los componentes que se unen entre sí.

Por ejemplo, en la Figura 6, una interfaz 94 se extiende entre la región de extremo 92 de la porción de cubierta 63 y la región perimetral 90 de la placa de extremo 60. Como se muestra, las regiones 90 y 92 se intersecan con los bordes paralelos. Como se describió, una junta u otro miembro de sello puede extenderse entre estos bordes. En las Figuras 7-10, se muestran ejemplos no exclusivos de interfaces adicionales 94. Las modalidades del recinto 12 que incluyen una interfaz 94 formada entre las regiones de cubierta adyacentes también pueden tener cualquiera de estas configuraciones. En la Figura 7, la región perimetral 90 define un rebaje o esquina en la cual la región de extremo 92 de la cubierta 62 se extiende para formar una interfaz 94 que se extiende alrededor de esta esquina. En la Figura 7 también se muestra la región central 96 de la placa de extremo 60, que, como se ilustra, se extiende dentro de la cubierta 62 y define una región de solapamiento con la misma.

En la Figura 8, la región perimetral 90 define una esquina que se abre generalmente hacia el compartimiento 18, en oposición a la esquina de la Figura 7, que se abre generalmente lejos del compartimiento 18. En la configuración mostrada en la Figura 8, la región perimetral 90 incluye una porción de collar 98 que se extiende al menos parcialmente a lo largo de la superficie exterior 100 de la cubierta 62 para definir una región de solapamiento con la misma. La región central 96 de la placa 60 se muestra en líneas continuas que se extienden a lo largo de la región de extremo 92 sin extenderse en la cubierta 62, en líneas discontinuas que se extienden en la cubierta 62 y en líneas de rayas y puntos que incluyen un soporte interno 102 que se extiende al menos parcialmente a lo largo de la superficie interior 104 de la cubierta 60. Las Figuras 9 y 10 son similares a las Figuras 7 y 8, excepto que la región perimetral 90 y la región de extremo 92 se adaptan para acoplarse de manera roscada entre sí, y en consecuencia incluyen las roscas correspondientes 106 y 108. En líneas discontinuas en la Figura 9, se muestra un ejemplo adicional de una configuración adecuada para la región perimetral 90 de la placa de extremo 60. Como se muestra, el borde exterior 110 de la placa de extremo no se extiende radialmente (o hacia fuera) hasta o más allá de la superficie exterior de la cubierta 62.

Debe entenderse que cualquiera de estas interfaces puede usarse con un recinto construido como se describe en la presente descripción. Sin embargo, para propósitos de brevedad, cada modalidad del recinto 12 no se mostrará con cada una de estas interfaces. Por lo tanto, aunque las placas de extremo descritas posteriormente mostradas en las Figuras 11-31 se muestran con la configuración de la interfaz de la Figura 7, está dentro del alcance de la invención que las placas de extremo y las cubiertas correspondientes pueden configurarse para tener cualquiera de las interfaces descritas y/o ilustradas en la presente descripción, así como también la configuración de la cubierta integrada descrita e ilustrada con respecto a las Figuras 5 y 6. De manera similar, debe entenderse que los dispositivos pueden tener cualquiera de las configuraciones del recinto, configuraciones de interfaz, configuraciones de estructura de retención, configuraciones de unidad de separación, estructuras de acoplamiento y/o reguladoras de flujo, configuraciones de miembros de sello y configuraciones de puertos, descritas y/o incorporadas en la presente descripción. De manera similar, aunque las siguientes configuraciones de la placa de extremo se ilustran con perímetros circulares, las placas de extremo pueden configurarse para tener perímetros con cualquier otra configuración geométrica, que incluye configuraciones arqueadas, rectilíneas y angulares, así como también sus combinaciones.

Como se describió, las dimensiones del dispositivo 10 y del recinto 12 también pueden variar. Por ejemplo, un recinto diseñado para alojar membranas de separación tubulares puede necesitar ser más largo (es decir, tener una mayor distancia entre las placas de extremo) que un recinto diseñado para alojar membranas de separación planas para proporcionar una cantidad comparable de área superficial de membrana expuesta a la corriente de gas mixto (es decir, la misma cantidad de área superficial efectiva de la membrana). De manera similar, un recinto configurado para alojar membranas de separación planas puede tender a ser más ancho (es decir, tener un área de sección transversal mayor medida generalmente paralela a las placas de extremo) que un recinto diseñado para alojar membranas de separación tubulares. Sin embargo, debe entenderse que ninguna de estas relaciones es necesaria, y que el tamaño específico del dispositivo y/o del recinto puede variar. Los factores que pueden afectar el tamaño específico del recinto incluyen el tipo y el tamaño de la unidad de separación que se va a alojar, los parámetros de funcionamiento en los que se usará el dispositivo, el régimen de flujo de la corriente de gas mixto 24, la forma y la configuración de los dispositivos, tales como unidades de calentamiento, procesadores de combustible y similares con los cuales o dentro de los cuales se usará el dispositivo, y hasta cierto punto, las preferencias del usuario.

Como se describió anteriormente, los dispositivos de purificación de hidrógeno pueden funcionar a temperaturas y/o presiones elevadas. Ambos de estos parámetros de funcionamiento pueden afectar el diseño de los recintos 12 y otros componentes de los dispositivos. Por ejemplo, considere un dispositivo de purificación de hidrógeno 10 operado a una temperatura de funcionamiento seleccionada por encima de una temperatura ambiente, tal como un dispositivo que funciona a 400 °C. Como cuestión inicial, el dispositivo, que incluye el recinto 12 y la unidad de separación 20, debe construirse a partir de un material que puede soportar la temperatura de funcionamiento seleccionada, y especialmente durante períodos prolongados de tiempo y/o con ciclos repetidos de calentamiento y enfriamiento. De manera similar, los materiales que se exponen a las corrientes de gas preferentemente no son reactivos o, al menos, no reaccionan perjudicialmente con los gases. Un ejemplo de un material adecuado es el acero inoxidable, tal como el acero inoxidable Tipo 304, aunque pueden usarse otros.

Además de la estabilidad térmica y reactiva descrita anteriormente, el dispositivo de mando 10 a una temperatura elevada seleccionada requiere una o más unidades de calentamiento 42 para calentar el dispositivo a la temperatura de funcionamiento seleccionada. Cuando el dispositivo se hace funcionar inicialmente desde un estado de apagado o sin calentar, habrá un período de arranque inicial o de precalentamiento en el que el dispositivo se calienta a la temperatura

de funcionamiento seleccionada. Durante este período, el dispositivo puede producir una corriente rica en hidrógeno que contiene más de un nivel aceptable de los otros gases, una corriente rica en hidrógeno que tiene un régimen de flujo reducido en comparación con la corriente o corrientes de subproducto (lo que significa que un mayor porcentaje del gas hidrógeno se agota como subproducto en lugar de producto), o incluso ninguna corriente rica en hidrógeno. Además del tiempo para calentar el dispositivo, también debe considerarse el calor o la energía térmica requerida para calentar el dispositivo a la temperatura seleccionada. La unidad o unidades de calentamiento pueden aumentar el costo de funcionamiento, el costo de los materiales y/o el costo del equipo del dispositivo. Por ejemplo, una placa de extremo simplificada 60 es una losa relativamente gruesa que tiene un grosor uniforme. De hecho, las placas de acero inoxidable Tipo 304 que tienen un grosor uniforme de 12,7 mm (0,5 ") o 19,05 mm (0,75 pulgadas) han demostrado ser efectivas para soportar y resistir los parámetros y condiciones de funcionamiento del dispositivo 10. Sin embargo, las dimensiones de estas placas agregan un peso considerable al dispositivo 10, y en muchas modalidades requieren una energía térmica considerable para calentarse a la temperatura de funcionamiento seleccionada. Como se usa en la presente descripción, el término "grosor uniforme" se refiere a dispositivos que tienen un grosor constante o al menos sustancialmente constante, que incluye aquellos que se desvían en grosor por unos pocos (menos del 5 %) a lo largo de sus longitudes. Por el contrario, y como se usa en la presente descripción, un "grosor variable" se referirá a un grosor que varía al menos un 10 %, y en algunas modalidades al menos un 25 %, 40 % o 50 %.

La presión a la que se hace funcionar el dispositivo 10 también puede afectar el diseño del dispositivo 10, que incluye el recinto 12 y la unidad de separación 20. Considere, por ejemplo, un dispositivo que funciona a una presión seleccionada de 1206,6 kPa (175 psi). El dispositivo 10 debe construirse para poder soportar las tensiones encontradas cuando se hace funcionar a la presión seleccionada. Este requisito de resistencia afecta no solo a los sellos formados entre los componentes del recinto 12, sino también a las tensiones impartidas a los propios componentes. Por ejemplo, la desviación u otra deformación de las placas de extremo y/o la cubierta pueden hacer que los gases dentro del compartimiento 18 se escapen del recinto. De manera similar, la desviación y/o deformación de los componentes del dispositivo también pueden causar una mezcla involuntaria de dos o más de las corrientes de gas 24, 34 y 36. Por ejemplo, una placa de extremo puede deformarse de manera plástica o elásticamente cuando se somete a los parámetros de funcionamiento bajo los cuales se usa el dispositivo 10. La deformación plástica da como resultado una deformación permanente de la placa de extremo, cuya desventaja parece bastante evidente. Sin embargo, la deformación elástica también puede impedir el funcionamiento del dispositivo, debido a que la deformación puede resultar en fugas internas y/o externas. Más específicamente, la deformación de las placas de extremo u otros componentes del recinto 12 puede permitir que los gases pasen a través de regiones donde anteriormente existían sellos herméticos. Como se describió, el dispositivo 10 puede incluir juntas u otros miembros de sello para reducir la tendencia de estos sellos a filtrarse, sin embargo, las juntas tienen un tamaño finito dentro del cual pueden prevenir o limitar de manera efectiva las fugas entre las superficies opuestas. Por ejemplo, las fugas internas pueden ocurrir en las modalidades que incluyen una o más envolturas de la membrana o placas de membrana comprimidas (con o sin juntas) entre las placas de extremo. A medida que las placas de extremo se deforman y se desvían entre sí, las placas y/o juntas pueden en esas regiones no estar bajo la misma tensión o compresión que existía antes de la deformación. Las juntas, o placas de juntas, pueden localizarse entre una envoltura de la membrana y las placas de alimentación adyacentes, placas de extremo y/u otras envolturas de la membrana adyacentes. De manera similar, las juntas o placas de junta también pueden posicionarse dentro de una envoltura de la membrana para proporcionar una prevención de fugas adicional dentro de la envoltura.

En vista de lo anterior, puede observarse que hay dos o tres factores competitivos que deben ponderarse con respecto al dispositivo 10. En el contexto del recinto 12, los requisitos de calentamiento del recinto tenderán a aumentar a medida que los materiales usados para formar el recinto se espesen. Sin embargo, hasta cierto punto, el uso de materiales más gruesos puede aumentar la resistencia del recinto, también puede aumentar los requisitos de calentamiento y de material, y en algunas modalidades en realidad producen regiones en las que se imparten mayores tensiones en comparación con un recinto más delgado. Las áreas a monitorear en una placa de extremo incluyen la desviación de la placa de extremo, especialmente en las regiones perimetrales que forman la(s) interfaz(es) 94, y las tensiones impartidas a la placa de extremo.

Considere, por ejemplo, una placa de extremo circular formada de acero inoxidable Tipo 304 y que tiene un grosor uniforme de 19,05 mm (0,75 pulgadas). Tal placa de extremo pesa 3,4 kg (7,5 libras). Un dispositivo de purificación de hidrógeno que contiene esta placa de extremo fue expuesto a parámetros de funcionamiento de 400 °C y 1206,6 kPa (175 psi). Se impartieron tensiones máximas de 178,6 mPa (25,900 psi) a la placa de extremo, con una desviación máxima de 0,11 mm (0,0042 pulgadas) y una desviación en la región perimetral 90 de 0,064 mm (0,0025 pulgadas).

Otra placa de extremo 60 construida de acuerdo con la presente invención se muestra en las Figuras 11 y 12 y generalmente se indica en 120. Como se muestra, la placa de extremo 120 tiene superficies interior y exterior 122 y 124. La superficie interior 122 incluye la región central 96 y la región perimetral 90. La superficie exterior 124 tiene una región central 126 y una región perimetral 128, y en la modalidad ilustrada, la placa 120 tiene un perímetro 130 que se extiende entre las regiones perimetrales 90 y 128 de las superficies interior y exterior. Como se describió anteriormente, la región perimetral 90 puede tener cualquiera de las configuraciones ilustradas o descritas anteriormente, que incluye una configuración en la cual la región de sellado se localiza al menos parcial o completamente a lo largo del perímetro 130. En la modalidad ilustrada, el perímetro 130 tiene una configuración circular. Sin embargo, la forma puede variar, tal como, para incluir configuraciones rectilíneas y otras arqueadas, geométricas, lineales y/o esquinadas.

Sin embargo, a diferencia de las placas de extremo ilustradas anteriormente, la región central de la placa de extremo tiene un grosor variable entre sus superficies interior y exterior, que quizás se vea mejor en la Figura 12. A diferencia de una losa de material uniforme, la superficie exterior de la placa 120 tiene una región central 126 que incluye una cavidad exterior, o región eliminada, 132 que se extiende hacia la placa y generalmente hacia la región central 96 en la superficie interior 122. Descrito de otra manera, la placa de extremo tiene una superficie exterior no plana, y más específicamente, una superficie exterior en la que al menos una porción de la región central se extiende hacia la región central correspondiente de la superficie interior de la placa de extremo. La región 132 reduce el peso total de la placa de extremo en comparación con una placa de extremo construida de manera similar que no incluye la región 132. Como se usa en la presente descripción, la región eliminada 132 pretende excluir los puertos u otros orificios que se extienden completamente a través de las placas de extremo. En cambio, la región 132 se extiende hacia la placa de extremo, pero no a través de ella.

Una reducción en el peso significa que un dispositivo de purificación 10 que incluye la placa de extremo será más ligero que un dispositivo de purificación correspondiente que incluye una placa de extremo construido de manera similar formada sin la región 132. Con la reducción de peso también viene una reducción correspondiente en la cantidad de calor (energía térmica) que debe aplicarse a la placa de extremo para calentar la placa de extremo a una temperatura de funcionamiento seleccionada. En la modalidad ilustrada, la región 132 también aumenta el área superficial de la superficie exterior 124. El aumento del área superficial de la placa de extremo en comparación con una placa de extremo correspondiente puede, pero no necesariamente en todas las modalidades, aumentar la superficie de transferencia de calor de la placa de extremo, que a su vez, puede reducir los requisitos de calentamiento y/o el tiempo de un dispositivo que contiene la placa de extremo 120.

En algunas modalidades, la placa 120 también puede describirse como que tiene una cavidad que corresponde a, o incluye, la región de tensión máxima en una placa de extremo construida de manera similar en la que la cavidad no estaba presente. En consecuencia, cuando se exponen a los mismos parámetros y condiciones de funcionamiento, se impartirán tensiones más bajas a la placa de extremo 120 que a una placa de extremo sólida formada sin la región 132. Por ejemplo, en la placa de extremo sólida con un grosor uniforme, la región de tensión máxima se produce dentro de la porción de la placa de extremo ocupada por la región eliminada 132 en la placa de extremo 120. En consecuencia, una placa de extremo con la región 132 puede describirse adicional o alternativamente como que tiene una estructura de reducción de tensión 134 en que se ha eliminado un área de tensión máxima que de cualquier otra manera se impartiría a la placa de extremo.

Para fines de comparación, considere una placa de extremo 120 que tiene la configuración mostrada en las Figuras 11 y 12, formada a partir de acero inoxidable Tipo 304 y que tiene un diámetro de 165,1 mm (6,5 pulgadas). Esta configuración corresponde al grosor máximo de la placa de 19,05 mm (0,75 pulgadas) y una región eliminada 132 que tiene una longitud y un ancho de 76,2 mm (3 pulgadas). Cuando se usa en un dispositivo 10 que funciona a 400 °C y 1206,6 kPa (175 psi), la placa 120 tiene una tensión máxima impartida a este de 248,2 mPa (36 000 psi), una desviación máxima de 0,1981 mm (0,0078 pulgadas), un desplazamiento de 0,1397 mm (0,0055 pulgadas) en la región perimetral 90, y un peso de 2,59 kg (5,7 libras). Debe entenderse que las dimensiones y propiedades descritas anteriormente están destinadas a proporcionar un ejemplo ilustrativo de las combinaciones de peso, tensión y desplazamiento experimentadas por las placas de extremo descritas en la presente descripción y que la forma del perímetro específico, los materiales de construcción, el tamaño del perímetro, el grosor, la forma de la región eliminada, la profundidad de la región eliminada y el perímetro de la región eliminada pueden variar.

En la Figura 11, puede observarse que la región 132 (y/o la estructura de reducción de tensión 134) tiene una configuración generalmente cuadrada o rectilínea medida transversalmente a las superficies 122 y 124. Como se describió, pueden usarse otras geometrías y dimensiones y estar dentro del alcance de la invención. Para ilustrar este punto, las variaciones de la placa de extremo 120 se muestran en las Figuras 13-16 y generalmente se indica en 120' y 120". En estas Figuras, se muestra la región 132 que tiene un perímetro circular, con las dimensiones de la región que son más pequeñas en las Figuras 13 y 14 que en las Figuras 15 y 16.

Para fines de comparación, considere una placa de extremo 120 que tiene la configuración mostrada en las Figuras 13 y 14 y que tiene los mismos materiales de construcción, perímetro y grosor que la placa de extremo mostrada en las Figuras 11 y 12. En lugar de la región eliminada generalmente cuadrada de las Figuras 11 y 12, sin embargo, la placa de extremo 120' tiene una región eliminada con un perímetro generalmente circular y un diámetro de 82,55 mm (3,25 pulgadas). La placa de extremo 120' pesa lo mismo que la placa de extremo 120, pero ha reducido la tensión máxima y las desviaciones. Más específicamente, mientras que la placa de extremo 120 tenía una tensión máxima mayor que 241,3 mPa (35 000 psi), la placa de extremo 120' tenía una tensión máxima menor que 206,8 mPa (30 000 psi), y en la configuración ilustrada menor que 172,4 mPa (25 000 psi), cuando se somete a los parámetros de funcionamiento descritos anteriormente con respecto a la placa 120. De hecho, la placa 120' demostró aproximadamente una reducción del 35 % en la tensión máxima en comparación con la placa 120. Las desviaciones máximas y de la región perimetral de la placa 120' también fueron menores que las de la placa 120, con una desviación máxima medida de 0,178 mm (0,007 pulgadas) y una desviación medida en la región perimetral 90 de 0,127 mm (0,0050 pulgadas).

La placa de extremo 120", que se muestra en las Figuras 15 y 16 es similar a la placa de extremo 120', excepto que la región 132 (y/o la estructura 134) tiene un diámetro de 95,3 mm (3,75 pulgadas) en lugar de 82,6 mm (3,25 pulgadas). Este cambio en el tamaño de la región eliminada disminuye el peso de la placa de extremo a 2,4 kg (5,3 libras) y produce

la misma desviación máxima. La placa de extremo 120" también demostró una tensión máxima inferior a 172,4 mPa (25 000 psi), aunque aproximadamente un 5 % mayor que la de la placa de extremo 120' (170,3 mPa (24 700 psi), en comparación con 162,0 mPa (23 500 psi)). En la región perimetral 90, la placa de extremo 120" exhibió una desviación máxima de 0,173 mm (0,0068 pulgadas).

5

En las Figuras 13-16, se han mostrado configuraciones del puerto ilustrativas. En las Figuras 13 y 14, se muestra un puerto 138 en líneas discontinuas que se extienden desde la superficie interior 122 a través de la placa de extremo hasta la superficie exterior 124. En consecuencia, con tal configuración, se entrega o se elimina una corriente de gas a través de la superficie exterior de la placa de extremo del dispositivo 10. En tal configuración, los conductos de fluido y/o la estructura de acoplamiento y/o reguladora de flujo 70 típicamente se proyectarán desde la superficie exterior de la placa de extremo 124. Otra configuración adecuada se indica en 140 en líneas discontinuas en las Figuras 15 y 16. Como se muestra, el puerto 140 se extiende desde la superficie interior de la placa de extremo y luego a través del perímetro 130 en lugar de la superficie exterior 124. En consecuencia, el puerto 140 permite que el gas se entregue o se elimine desde el perímetro de la placa de extremo en lugar de la superficie exterior de la placa de extremo. Debe entenderse que los puertos 64-68 pueden tener estas configuraciones ilustradas por los puertos 138 y 140. Por supuesto, los puertos 64-68 también pueden tener cualquier otra configuración de puerto adecuada, que incluye un puerto que se extiende a través de la cubierta 62 o una porción de la cubierta. Por razones de simplicidad, los puertos no se ilustrarán en muchas de las placas de extremo descritas posteriormente, tal como no se ilustraron en las Figuras 5 y 6.

10

15

20

25

30

También se muestra en líneas discontinuas en las Figuras 13-15 son estructuras de guía 144. Las estructuras de guía 144 se extienden en el compartimiento 18 y proporcionan soportes que pueden usarse para posicionar y/o alinear la unidad de separación 20, tales como las membranas 46. En algunas modalidades, las estructuras de guía 144 pueden formar las sujeciones 52 para la unidad de separación. En otras modalidades, el dispositivo incluye sujeciones distintas de las estructuras de guía 144. Las estructuras de guía pueden usarse con cualquiera de las placas de extremo ilustradas, incorporadas y/o descritas en la presente descripción, independientemente de si se muestra alguna de tales estructuras de guía en una figura de dibujo particular. Sin embargo, también debe entenderse que los dispositivos de purificación de hidrógeno pueden formarse sin estructuras de guía 144. En las modalidades del dispositivo 10 que incluyen estructuras de guía 144 que se extienden en o a través del compartimiento 18, la cantidad de tales estructuras puede variar desde un único soporte hasta dos o más soportes. De manera similar, mientras que las estructuras de guía 144 se han ilustrado como nervios o proyecciones cilíndricas, pueden usarse otras formas y configuraciones.

35

40

45

Las estructuras de guía 144 pueden formarse a partir de los mismos materiales que las placas de extremo correspondientes. Adicional o alternativamente, las estructuras de guía pueden incluir un recubrimiento o capa de un material diferente. Las estructuras de guía 144 pueden formarse o bien por separado de las placas de extremo y posteriormente unirse a las mismas, o formarse integralmente con las mismas. Las estructuras de guía 144 pueden acoplarse a las placas de extremo mediante cualquier mecanismo adecuado, que incluyen unir las estructuras de guía a las superficies interiores de las placas de extremo, insertar las estructuras de guía en orificios que se extienden parcialmente a través de las placas de extremo desde las superficies interiores de las mismas, o insertar las estructuras de guía a través de los orificios que se extienden completamente a través de las placas de extremo. En las modalidades en las que las placas de extremo incluyen orificios que se extienden completamente a través de las placas de extremo (que se ilustran gráficamente con fines ilustrativos en 146 en la Figura 14), las estructuras de guía pueden fijarse posteriormente a las placas de extremo. Alternativamente, las estructuras de guía pueden insertarse a través del compartimiento 18 hasta que la unidad de separación se asigne y se asegure correctamente en el mismo, y luego las estructuras de guía pueden retirarse y sellarse los orificios (por ejemplo, mediante soldadura) para evitar fugas.

50

55

60

En las Figuras 17 y 18, se muestra otra placa de extremo 60 construida de acuerdo con la presente invención y generalmente se indica en 150. A menos que se especifique de cualquier otra manera, debe entenderse que las placas de extremo 150 pueden tener cualquiera de los miembros, submiembros y variaciones como cualquiera de las otras placas de extremo mostradas, descritas y/o incorporadas en la presente descripción. Similar a la placa de extremo 120', la placa 150 incluye una superficie exterior 124 con una región eliminada 132 (y/o estructura de reducción de tensión 134) que tiene un perímetro circular con un diámetro de 82,6 mm (3,25 pulgadas). La superficie exterior 124 incluye además una región exterior eliminada 152 que se extiende desde la región central 126 hasta la porción perimetral 128. La región exterior eliminada 152 disminuye en grosor a medida que se aproxima al perímetro 130. En la modalidad ilustrada, la región 152 tiene una reducción generalmente lineal en el grosor, aunque pueden usarse otras transiciones lineales y arqueadas. Por ejemplo, una variación de la placa de extremo 150 se muestra en las Figuras 19 y 20 y generalmente se indica en 150'. La placa de extremo 150' también incluye las regiones central y exterior eliminadas 132 y 152, con la superficie exterior 124 que tiene una configuración generalmente semitoroidal ya que se extiende desde la región central 126 hasta la región perimetral 128. Para demostrar que el tamaño de la región 132 (que también se denominará como una región central eliminada, tal como cuando se incorpora en una placa de extremo que también incluye una región externa eliminada), puede variar, la placa de extremo 150' incluye una región central eliminada que tiene un diámetro de 76,2 mm (3 pulgadas).

65

Para fines de comparación, ambas placas de extremo 150 y 150' tienen pesos reducidos en comparación con las placas de extremo 120, 120' y 120". La placa 150 pesaba 2,1 kg (4,7 libras) y la placa 150' pesaba 2,3 kg (5,1 libras). Ambas placas de extremo 150 y 150' experimentaron tensiones máximas de 172,4 mPa (25 000 psi) o menos cuando se les sometió a los parámetros de funcionamiento descritos anteriormente (400 °C y 1206,6 kPa (175 psi)), con la placa 150'

que tiene un 5 % menos de tensión que la placa 150 (163,8 mPa (23 750 psi) en comparación con 172,4 mPa (25 000 psi)). La desviación máxima de las placas fue 0,249 mm (0,0098 pulgadas) y 0,203 mm (0,008 pulgadas), respectivamente, y el desplazamiento en las regiones perimetrales 90 fue 0,155 mm (0,0061 pulgadas) y 0,150 mm (0,0059 pulgadas), respectivamente.

Otra placa de extremo 60 se muestra en las Figuras 21-24 y generalmente indicada como 160. A menos que se especifique de cualquier otra manera, la placa de extremo 160 puede tener los mismos miembros, submiembros y variaciones que las otras placas de extremo ilustradas y/o descritas en la presente descripción. La placa de extremo 160 puede denominarse como una placa de extremo reforzada con armaduras debido a que incluye un ensamble de armadura 162 que se extiende desde la superficie exterior de la placa de extremo 124. Como se muestra, la placa de extremo 160 tiene una placa base 164 con una configuración generalmente plana, similar a las placas de extremo mostradas en las Figuras 2-5. Sin embargo, el ensamble de armadura 162 permite, pero no requiere, que la placa base pueda tener una construcción más delgada y, al mismo tiempo, proporcionar tensiones y deflexiones máximas comparables, aunque no reducidas. Cualquiera de las otras placas de extremo ilustradas y/o descritas en la presente descripción también puede incluir un ensamble de armadura 162.

El ensamble de armadura 162 se extiende desde la superficie exterior 124 de la placa base 164 e incluye una pluralidad de nervios salientes 166 que se extienden desde la superficie exterior 124. En las Figuras 21-24, puede observarse que los nervios 166 se separan radialmente alrededor de la superficie 124. Nueve costillas 166 se muestran en las Figuras 21 y 23, pero está dentro del alcance de la invención que el ensamble de armadura 162 pueda formarse con más o menos nervios. De manera similar, en la modalidad ilustrada, los nervios 166 tienen configuraciones arqueadas e incluyen bridas 168 que se extienden entre los nervios y la superficie 124. Las bridas 168 también pueden describirse como aletas de transferencia de calor debido a que agregan un área considerable de transferencia de calor a la placa de extremo. El ensamble de armadura 162 incluye además un collar de tensión 170 que interconecta los nervios. Como se muestra, el collar 170 se extiende generalmente paralelo a la placa base de la superficie 164 y tiene una región central abierta 172. El collar 170 puede formarse con una porción central cerrada o que se proyecta interna o externamente. Para ilustrar este punto, los miembros 174 se muestran en líneas discontinuas que se extienden a través del collar 170 en la Figura 21. De manera similar, el collar 170 puede tener configuraciones distintas a la configuración circular mostrada en las Figuras 21-24. Como una alternativa adicional, la placa base 164 se ha indicado en líneas discontinuas parciales en la Figura 22 para ilustrar gráficamente que la placa base puede tener una variedad de configuraciones, tales como las descritas e ilustradas en la presente descripción, que incluye la configuración mostrada si la región discontinua se elimina.

La placa de extremo 160 puede adicional o alternativamente, describirse como que tiene un soporte 170 que se extiende en una relación separada más allá de la superficie exterior 124 de la placa base 164 y que se adapta para proporcionar rigidez y/o resistencia adicional a la placa base. Aún otra descripción adicional o alternativa de la placa de extremo 160 es que la placa de extremo incluye una estructura de transferencia de calor 162 que se extiende lejos de la superficie exterior de la placa base, y que la estructura de transferencia de calor incluye una superficie 170 que está separada de la superficie 124 de manera que una corriente de fluido caliente pueda pasar entre las superficies.

El ensamble de armadura 162 también puede denominarse como un ejemplo de una estructura de reducción de la desviación debido a que reduce la desviación que, de cualquier otra manera, se produciría si la placa base 164 se formara sin el ensamble de armadura. De manera similar, el ensamble de armadura 162 también puede proporcionar otro ejemplo de una estructura de reducción de tensiones debido a que reduce las tensiones máximas que de cualquier otra manera se impartirían a la placa base. Además, el diseño abierto del ensamble de armadura aumenta el área de transferencia de calor de la placa base sin agregar un peso significativo a la placa base.

Continuando con las comparaciones anteriores entre las placas de extremo, la placa 160 se sometió a los mismos parámetros de funcionamiento que las placas de extremo descritas anteriormente. Las tensiones máximas impartidas a la placa base 164 fueron de 68,9 mPa (10 000 psi) o menos. De manera similar, la desviación máxima de la placa base fue de solo 0,155 mm (0,0061 pulgadas), con una desviación de 0,142 mm (0,0056 pulgadas) en la región perimetral 90. Debe señalarse que la placa base 160 logró esta reducción significativa en la tensión máxima mientras que pesaba solo 1,50 kg (3,3 libras). De manera similar, la placa base 164 experimentó un desplazamiento máximo más pequeño y un desplazamiento perimetral comparable o reducido, pero tenía una placa base de solo 6,35 mm (0,25 pulgadas) de grosor. Por supuesto, la placa 160 puede construirse con placas base más gruesas, pero la placa probada demostró ser lo suficientemente fuerte y rígida bajo los parámetros de funcionamiento con los que se usó.

Como se describió, el recinto 12 puede incluir un par de placas de extremo 60 y una cubierta perimetral. En la Figura 25, un ejemplo de un recinto 12 formado con un par de placas de extremo 160 se muestra con fines ilustrativos y se indica generalmente en 180. Aunque el recinto 180 tiene un par de placas de extremo reforzadas con armaduras 160, un recinto puede tener placas de extremo que tienen diferentes construcciones y/o configuraciones. De hecho, en algunos entornos operativos puede ser beneficioso formar el recinto 12 con dos tipos diferentes de placas de extremo. En otros, puede ser beneficioso que las placas de extremo tengan la misma construcción.

En las Figuras 26 y 27, otro ejemplo de un recinto 12 se muestra y generalmente se indica en 190 e incluye las placas de extremo 120". La placa de extremo 120" tiene una configuración similar a la de las Figuras 13-16, excepto que se muestra la región eliminada 132 que tiene un diámetro de 101,6 mm (4 pulgadas) para ilustrar aún más que la forma y el

tamaño de la región eliminada pueden variar. Ambas placas de extremo incluyen porciones de cubierta 63 que se extienden integralmente desde las mismas para ilustrar que cualquiera de las placas de extremo ilustradas y/o descritas en la presente descripción puede incluir una porción de cubierta 63 que se extiende integralmente desde las mismas. Para ilustrar que cualquiera de las placas de extremo descritas y/o ilustradas en la presente descripción también pueden incluir ensambles de armadura (o estructura de transferencia de calor) 162 y/o soportes salientes 170 o estructura de reducción de la desviación, se muestran los miembros 194 que se proyectan a través de la región eliminada 132 en una configuración separada de la superficie exterior 124 de la placa de extremo. El recinto 12 puede incluir estructuras de reducción de tensión y/o desviación que se extienden dentro del compartimiento 18 en oposición a, o además de, las estructuras correspondientes que se extienden desde la superficie exterior de las placas de extremo. En las Figuras 28-30, se muestran placas de extremo 60 que ilustran ejemplos de estas estructuras. Por ejemplo, en la Figura 28, la placa de extremo 60 incluye una región eliminada 132 que se extiende hacia la placa de extremo desde la superficie interior 122 de la placa de extremo. Debe entenderse que la región 132 puede tener cualquiera de las configuraciones descritas y/o ilustradas en la presente descripción con respecto a las regiones eliminadas que se extienden desde la superficie exterior de una placa base. De manera similar, en líneas discontinuas en 170 en la Figura 28, se muestran los soportes que se extienden a través de la región 132 para proporcionar soporte adicional y/o rigidez a la placa de extremo. En la Figura 29, la placa de extremo 60 incluye soportes internos 196 que se adaptan para extenderse en el compartimiento 18 para interconectar la placa de extremo con la placa de extremo correspondiente en el otro extremo del compartimiento. Como se describió, las estructuras de guía 144 pueden formar tal soporte. En la Figura 30, se muestra un ensamble de armadura que sobresale internamente 162. El dispositivo 10 puede incluir placas de extremo 60 que exhiban al menos una de las siguientes propiedades o combinaciones de propiedades en comparación con una placa de extremo formada por una losa sólida de grosor uniforme del mismo material que la placa de extremo 60 y expuesta a los mismos parámetros de funcionamiento:

- un ensamble de armadura sobresaliente;
- un soporte que sobresale internamente;
- un soporte que sobresale externamente;
- una región externa eliminada;
- una región interna eliminada;
- una porción de cubierta integral;
- una cubierta integral;
- una masa reducida y una tensión máxima reducida;
- una masa reducida y un desplazamiento máximo reducido;
- una masa reducida y desplazamiento perimetral reducido;
- una masa reducida y un área de transferencia de calor aumentada;
- una masa reducida y soportes que sobresalen internamente;
- una masa reducida y soportes que sobresalen externamente;
- una tensión máxima reducida y un desplazamiento máximo reducido;
- una tensión máxima reducida y un desplazamiento del perímetro reducido;
- una tensión máxima reducida y un área de transferencia de calor aumentada;
- una tensión máxima reducida y un ensamble de armadura sobresaliente;
- una tensión máxima reducida y una región eliminada;
- un desplazamiento máximo reducido y un desplazamiento del perímetro reducido;
- un desplazamiento máximo reducido y un área de transferencia de calor aumentada;
- un desplazamiento del perímetro reducido y un área de transferencia de calor aumentada;
- un desplazamiento del perímetro reducido y un ensamble de armadura sobresaliente;
- un desplazamiento del perímetro reducido y una región eliminada;
- una relación de desplazamiento masa/máximo que es menor de 0,0987 kg/Pa (1500 lb/psi);
- una relación de desplazamiento masa/máximo que es menor que 0,0658 kg/Pa (1000 lb/psi);
- una relación de desplazamiento masa/máximo que es menor que 0,0493 kg/Pa (750 lb/psi);
- una relación de desplazamiento masa/máximo que es menor que 0,0329 kg/Pa (500 lb/psi);
- una relación de desplazamiento masa/máximo que es menor que 0,132 kg/Pa (2000 lb/psi);
- una relación de desplazamiento masa/perímetro que es menor que 0,0987 kg/Pa (1500 lb/psi);
- una relación de desplazamiento masa/perímetro que es menor que 0,0658 kg/Pa (1000 lb/psi);
- una relación de desplazamiento masa/perímetro que es menor que 0,0526 kg/Pa (800 lb/psi);
- una relación de desplazamiento masa/máximo que es menor que 0,0395 kg/Pa (600 lb/psi);
- una relación de área de sección transversal/masa que es de al menos 8534,0 mm²/kg (6 en²/libra);
- una relación de área de sección transversal/masa que es al menos 9956,3 mm²/kg (7 en²/libra); y/o
- una relación de área de sección transversal/masa que es de al menos 14 223,3 mm²/kg (10 en²/libra).

Como se describió, el recinto 12 contiene un compartimiento interno 18 que aloja la unidad de separación 20, tal como una o más membranas de separación 46, que se soportan dentro del recinto por una sujeción adecuada 52. En los ejemplos ilustrativos mostrados en las Figuras 2 y 4, las membranas de separación 46 se representaron como membranas planas o tubulares independientes. Las membranas pueden disponerse en pares que definen la región de permeado 32 entre las mismas. En tal configuración, los pares de membranas pueden denominarse como una envoltura de la membrana, en el sentido de que definen una región de permeado común 32 en forma de un conducto de recolección, o trayectoria de flujo, que se extiende entre los mismos y desde la cual la corriente rica en hidrógeno 34 puede recogerse.

Un ejemplo de una envoltura de la membrana se muestra en la Figura 31 y generalmente se indica en 200. Debe entenderse que los pares de membranas pueden tomar una variedad de formas adecuadas, tales como envolturas planas y envolturas tubulares. De manera similar, las membranas pueden soportarse independientemente, tal como con respecto a una placa de extremo o alrededor de un pasaje central. Para fines de ilustración, la siguiente descripción y las ilustraciones asociadas describirán que la unidad de separación incluye una o más envolturas de la membrana 200. Debe entenderse que las membranas que forman la envoltura pueden ser dos membranas separadas, o pueden ser una sola membrana doblada, enrollada o configurada de cualquier otra manera para definir dos regiones de membrana, o superficies, 202 con superficies de permeado 50 que se orientan una hacia la otra para definir un conducto 204 entre los cuales puede recogerse y extraerse el gas permeado rico en hidrógeno. El conducto 204 puede formar por sí mismo la región de permeado 32, o un dispositivo 10 de acuerdo con la presente invención puede incluir una pluralidad de envolturas de la membrana 200 y los correspondientes conductos 204 que definen colectivamente la región de permeado 32.

Para soportar las membranas contra altas presiones de alimentación, se usa un soporte 54. El soporte 54 debe permitir que el gas que penetra a través de las membranas 46 fluya a través del mismo. El soporte 54 incluye las superficies 211 contra las que se soportan las superficies de permeado 50 de las membranas. En el contexto de un par de membranas que forman una envoltura de la membrana, el soporte 54 también puede describirse como que define el conducto de recolección 204. En el conducto 204, el gas permeado preferentemente puede fluir tanto de manera transversal como paralela a la superficie de la membrana a través de la cual pasa el gas, tal como se ilustra esquemáticamente en la Figura 31. El gas permeado, que es al menos sustancialmente gas hidrógeno puro, en donde el gas hidrógeno sustancialmente puro tiene una pureza superior al 90 %, luego puede recogerse o retirarse de cualquier otra manera de la envoltura para formar una corriente rica en hidrógeno 34. Debido a que las membranas se apoyan sobre el soporte, es conveniente que el soporte no obstruya el flujo de gas a través de las membranas selectivas de hidrógeno. El gas que no pasa a través de las membranas forma una o más corrientes de subproducto 36, como se ilustra esquemáticamente en la Figura 31.

Un ejemplo de un soporte adecuado 54 para las envolturas de la membrana 200 se muestra en la Figura 32 en forma de una estructura de pantalla 210. La estructura de pantalla 210 incluye múltiples miembros de pantalla 212. En la modalidad ilustrada, los miembros de pantalla incluyen una pantalla de malla gruesa 214 intercalada entre las pantallas de malla fina 216. Debe entenderse que los términos "fina" y "gruesa" son términos relativos. Preferentemente, los miembros de pantalla externa se seleccionan para soportar las membranas 46 sin perforar las membranas y sin tener suficientes aberturas, bordes u otras proyecciones que puedan perforar, debilitar o dañar de cualquier otra manera la membrana en las condiciones de funcionamiento con las que funciona el dispositivo 10. Debido a que la estructura de pantalla debe proporcionar un flujo del gas permeado generalmente paralelo a las membranas, es conveniente usar un miembro de pantalla interno relativamente más grueso para proporcionar conductos de flujo paralelo mejorados o más grandes. En otras palabras, las pantallas de malla más fina proporcionan una mejor protección para las membranas, mientras que la pantalla de malla más gruesa proporciona un mejor flujo generalmente paralelo a las membranas y, en algunas modalidades, pueden seleccionarse para ser más rígidas o menos flexibles, que las pantallas de malla más fina.

Los miembros de pantalla pueden ser similares o de la misma construcción, y pueden usarse más o menos miembros de pantalla de lo que se muestra en la Figura 32. Preferentemente, el soporte 54 se forma de un material resistente a la corrosión que no perjudicará el funcionamiento del dispositivo de purificación de hidrógeno y otros dispositivos con los que se usa el dispositivo 10. Los ejemplos de materiales adecuados para los miembros de pantalla metálicos incluyen aceros inoxidables, titanio y aleaciones de los mismos, zirconio y aleaciones de los mismos, aleaciones resistentes a la corrosión, que incluyen las aleaciones Inconel™, tal como 800H™ y aleaciones Hastelloy™, y aleaciones de cobre y níquel, tal como Monel™. Las aleaciones Hastelloy™ e Inconel™ son aleaciones a base de níquel. Las aleaciones Inconel™ típicamente contienen níquel aleado con cromo y hierro. Las aleaciones Monel™ son típicamente aleaciones de níquel, cobre, hierro y manganeso. Los ejemplos adicionales de estructura para los soportes 54 incluyen cerámica porosa, carbono poroso, metal poroso, espuma cerámica, espuma de carbono y espuma metálica, ya sea solos o en combinación con uno o más miembros de pantalla 212. Como otro ejemplo, algunos o todos los miembros de pantalla pueden formarse a partir de metal expandido en lugar de un material de malla tejida.

Durante la fabricación de las envolturas de la membrana, puede usarse adhesivo para asegurar las membranas 46 a la estructura de pantalla y/o para asegurar los componentes de la estructura de pantalla 210 juntos, como se describe en más detalle en la solicitud de patente de Estados Unidos con número de serie 09/812,499. Para fines de ilustración, el adhesivo se indica generalmente en líneas discontinuas en 218 en la Figura 32. Un ejemplo de un adhesivo adecuado se vende por 3M bajo el nombre comercial SUPER 77. Típicamente, el adhesivo se elimina al menos sustancialmente, si no completamente, después de la fabricación de la envoltura de la membrana para no interferir con la permeabilidad, selectividad y trayectorias de flujo de las envolturas de la membrana. Un ejemplo de un método adecuado para eliminar el adhesivo de las membranas y/o estructuras de pantalla u otros soportes es mediante la exposición a condiciones oxidantes antes del funcionamiento inicial del dispositivo 10. El objetivo del acondicionamiento oxidativo es quemar el adhesivo sin oxidar excesivamente la membrana de aleación de paladio. Un procedimiento adecuado para tal oxidación se describe en la solicitud de patente anterior.

Los soportes 54, que incluyen la estructura de pantalla 210, pueden incluir un recubrimiento 219 en las superficies 71 que se acoplan a las membranas 46, tal como se indica en las líneas de rayas y puntos en la Figura 32. Los ejemplos de recubrimientos adecuados incluyen óxido de aluminio, carburo de tungsteno, nitruro de tungsteno, carburo de titanio,

nitruro de titanio y mezclas de los mismos. Estos recubrimientos se caracterizan generalmente por ser termodinámicamente estables con respecto a la descomposición en presencia de hidrógeno. Los recubrimientos adecuados se forman a partir de materiales, tales como óxidos, nitruros, carburos o compuestos intermetálicos, que pueden aplicarse como un recubrimiento y que son termodinámicamente estables con respecto a la descomposición en presencia de hidrógeno bajo los parámetros de funcionamiento (temperatura, presión, etc.) bajo el cual funcionará el dispositivo de purificación de hidrógeno. Los métodos adecuados para aplicar tales recubrimientos a la pantalla o al miembro de pantalla de metal expandido incluyen deposición química en fase de vapor, pulverización catódica, evaporación térmica, pulverización térmica y, en el caso de al menos óxido de aluminio, deposición del metal (por ejemplo, aluminio) seguido de oxidación del metal para dar óxido de aluminio. En al menos algunas modalidades, los recubrimientos pueden describirse como que previene la difusión intermetálica entre las membranas selectivas de hidrógeno y la estructura de pantalla.

Los dispositivos de purificación de hidrógeno 10 descritos, ilustrados y/o incorporados en la presente descripción pueden incluir una o más envolturas de la membrana 200, típicamente junto con puertos de entrada y salida adecuados a través de los cuales se entrega la corriente de gas mixto y de los cuales se eliminan las corrientes ricas en hidrógeno y de subproductos. En algunas modalidades, el dispositivo puede incluir una pluralidad de envolturas de la membrana. Cuando la unidad de separación incluye una pluralidad de envolturas de la membrana, puede incluir conductos de fluido que interconectan las envolturas, tal como para entregar una corriente de gas mixto a los mismos, para extraer la corriente rica en hidrógeno de los mismos y/o para retirar el gas que no pasa a través de las membranas de la región del gas mixto 30. Cuando el dispositivo incluye una pluralidad de envolturas de la membrana, la corriente de permeado, la corriente de subproducto, o ambas, desde una primera envoltura de la membrana puede enviarse a otra envoltura de la membrana para una purificación adicional. La envoltura o la pluralidad de envolturas y puertos, soportes, conductos asociados y similares pueden denominarse como módulo de membrana 220.

La cantidad de envolturas de la membrana 200 usadas en un dispositivo particular 10 depende en cierto grado de la velocidad de alimentación de la corriente de gas mixto 24. Por ejemplo, un módulo de membrana 220 que contiene cuatro envolturas 200 ha demostrado ser efectivo para una corriente de gas mixto entregada al dispositivo 10 a un régimen de flujo de 20 litros/minuto. A medida que aumenta el régimen de flujo, puede aumentar la cantidad de envolturas de la membrana, tal como en una relación generalmente lineal. Por ejemplo, un dispositivo 10 adaptado para recibir la corriente de gas mixto 24 a un régimen de flujo de 30 litros/minuto puede incluir preferentemente seis envolturas de la membrana. Sin embargo, estas cantidades ilustrativas de envolturas se proporcionan con fines ilustrativos, y puede usarse una mayor o menor cantidad de envolturas. Por ejemplo, los factores que pueden afectar la cantidad de envolturas que se usarán incluyen el flujo de hidrógeno a través de las membranas, el área superficial efectiva de las membranas, el régimen de flujo de la corriente de gas mixto 24, la pureza deseada de la corriente rica en hidrógeno 34, la eficiencia deseada a la que se elimina el gas hidrógeno de la corriente de gas mixto 24, las preferencias del usuario, las dimensiones disponibles del dispositivo 10 y el compartimiento 18, etc.

Preferentemente, pero no necesariamente, la estructura de pantalla y las membranas que se incorporan en una envoltura de la membrana 200 incluyen miembros de marco 230, o placas, que se adaptan para sellar, soportar y/o interconectar las envolturas de la membrana. En la Figura 33 se muestra un ejemplo ilustrativo de miembros de marco adecuados 230. Como se muestra, la estructura de pantalla 210 se ajusta dentro de un miembro de marco 230 en forma de un marco de permeado 232. La estructura de pantalla y el marco 232 pueden denominarse colectivamente como placa de pantalla o placa de permeado 234. Cuando la estructura de pantalla 210 incluye miembros de metal expandido, los miembros de pantalla de metal expandido pueden ajustarse o bien dentro del marco de permeado 232 o extenderse al menos parcialmente sobre la superficie del marco. Los ejemplos adicionales de miembros de marco 230 incluyen marcos de soporte, placas de alimentación y/o juntas. Estos marcos, juntas u otras estructuras de soporte también pueden definir, al menos en parte, los conductos de fluido que interconectan las envolturas de la membrana en una modalidad de la unidad de separación 20 que contiene dos o más envolturas de la membrana. Los ejemplos de juntas adecuadas son las juntas de grafito flexibles, que incluyen las vendidas bajo el nombre comercial GRAFOIL™ por Union Carbide, aunque pueden usarse otros materiales, tal como que dependen de las condiciones de funcionamiento en las que se usa el dispositivo 10.

Continuando con la ilustración anterior de los miembros de marco ilustrativos 230, las juntas de permeado 236 y 236' se unen al marco de permeado 232, preferentemente pero no necesariamente, mediante el uso de otra aplicación delgada de adhesivo. A continuación, las membranas 46 se apoyan contra la estructura de pantalla 210 y/o se unen a la estructura de pantalla 210 mediante el uso de una aplicación delgada de adhesivo, tal como pulverizando o aplicando de cualquier otra manera el adhesivo a cualquiera de las membranas y/o la estructura de pantalla. Se debe tener cuidado de asegurarse de que las membranas estén planas y firmemente unidas al miembro de pantalla correspondiente 212. Las placas de alimentación, o juntas, 238 y 238' se unen opcionalmente a las juntas 236 y 236', tal como, mediante el uso de otra aplicación delgada de adhesivo. La envoltura de la membrana resultante 200 se posiciona luego dentro del compartimiento 18, tal como por una sujeción adecuada 52. Opcionalmente, dos o más envolturas de la membrana pueden apilarse o apoyarse de cualquier otra manera juntas dentro del compartimiento 18.

Como una alternativa adicional, cada membrana 46 puede fijarse a un miembro de marco 230, tal como un marco de metal 240, como se muestra en la Figura 34. Si es así, la membrana se fija al marco, por ejemplo, mediante soldadura ultrasónica u otro mecanismo de unión adecuado. El ensamble del marco de la membrana puede, pero no se requiere,

unirse a la estructura de pantalla 210 mediante el uso de adhesivo. Otros ejemplos de mecanismos de unión que logran sellos herméticos al gas entre las placas que forman la envoltura de la membrana 200, así como también entre las envolturas de la membrana, incluyen uno o más de soldadura fuerte, sellado y soldadura. La membrana y el marco unido pueden denominarse colectivamente como una placa de membrana 242. Está dentro del alcance de la invención que los diversos marcos descritos en la presente descripción no tienen que formarse todos a partir de los mismos materiales y/o que los marcos pueden no tener las mismas dimensiones, tales como los mismos grosores. Por ejemplo, los marcos de permeado y de alimentación pueden formarse de acero inoxidable u otro miembro estructural adecuado, mientras que la placa de membrana puede formarse de un material diferente, tal como cobre, aleaciones de los mismos y otros materiales descritos en las patentes y solicitudes anteriores. Adicional y/o alternativamente, la placa de membrana puede, pero no se requiere que sea, más delgada que las placas de alimentación y/o de permeado.

Con fines ilustrativos, se describe una geometría adecuada del flujo de fluido a través de la envoltura de la membrana 200 con respecto a la modalidad de la envoltura 200 que se muestra en la Figura 33. Como se muestra, la corriente de gas mixto 24 se entrega a la envoltura de la membrana y entra en contacto con las superficies exteriores 50 de las membranas 46. El gas rico en hidrógeno que penetra a través de las membranas entra en el conducto de recolección 204. El conducto de recolección está en comunicación continua con los conductos 250 a través de los cuales puede extraerse la corriente de permeado de la envoltura de la membrana. La porción de la corriente de gas mixto que no pasa a través de las membranas fluye a un conducto 252 a través del cual este gas puede extraerse como una corriente de subproducto 36. En la Figura 33, se muestra un solo conducto de subproducto 252, mientras que en la Figura 34 se muestra un par de conductos 252 para ilustrar que cualquiera de los conductos descritos en la presente descripción puede incluir alternativamente más de un pasaje de fluido. Debe entenderse que las flechas usadas para indicar el flujo de las corrientes 34 y 36 se han ilustrado esquemáticamente, y que la dirección del flujo a través de los conductos 250 y 252 puede variar, tal como, en dependencia de la configuración de una envoltura de la membrana particular 200, módulo 220 y/o dispositivo 10.

En la Figura 35, se muestra otro ejemplo de una envoltura de la membrana adecuada 200. Para ilustrar gráficamente que las placas de extremo 60 y la cubierta 62 pueden tener una variedad de configuraciones, se muestra la envoltura 200 que tiene una configuración generalmente rectangular. La envoltura de la Figura 35 también proporciona otro ejemplo de una envoltura de la membrana que tiene un par de conductos de subproducto 252 y un par de conductos de hidrógeno 250. Como se muestra, la envoltura 200 incluye las placas de alimentación, o separador, 238 como los marcos más externos en la envoltura. Generalmente, cada una de las placas 238 incluye un marco 260 que define una región interior abierta 262. Cada región interior abierta 262 se acopla lateralmente a los conductos 252. Los conductos 250, sin embargo, están cerrados con relación a la región abierta 262, lo que aísla de esta manera la corriente rica en hidrógeno 34. Las placas de membrana 242 se encuentran adyacentes e interiores a las placas 238. Las placas de membrana 242 cada una incluye como una porción central de la misma una membrana selectiva de hidrógeno 46, que puede asegurarse a un marco exterior 240, que se muestra con fines de ilustración gráfica. En las placas 242, todos los conductos están cerrados con relación a la membrana 46. Cada membrana se encuentra adyacente a una correspondiente de las regiones abiertas 262, es decir, adyacente al flujo de gas mixto que llega a la envoltura. Esto proporciona una oportunidad para que el gas hidrógeno pase a través de la membrana, con los gases que no se permean, es decir, los gases que forman la corriente de subproducto 36, dejando la región abierta 262 a través del conducto 252. La placa de pantalla 234 se posiciona intermedia entre las membranas 46 y/o las placas de membrana 242, es decir, en el interior o lado de permeado de cada una de las membranas 46. La placa de pantalla 234 incluye una estructura de pantalla 210 u otro soporte adecuado 54. Los conductos 252 están cerrados con relación a la región central de la placa de pantalla 234, lo que aísla de esta manera la corriente de subproducto 36 y la corriente de gas mixto 24 de la corriente rica en hidrógeno 34. Los conductos 250 están abiertos hacia la región interior de la placa de pantalla 234. El gas hidrógeno, que ha pasado a través de las membranas adyacentes 46, se desplaza a lo largo y a través de la estructura de pantalla 210 a los conductos 250 y, finalmente, a un puerto de salida como la corriente rica en hidrógeno 34.

Como se describió, el dispositivo 10 puede incluir una membrana única 46 dentro de la cubierta 62, una pluralidad de membranas dentro de la cubierta 62, una o más envolturas de la membrana 200 dentro de la cubierta 62 y/u otras unidades de separación 20. En la Figura 36, una envoltura de la membrana 200 similar a la que se muestra en la Figura 34 se muestra posicionada dentro de la cubierta 62 para ilustrar este punto. Debe entenderse que la envoltura 200 también puede representar esquemáticamente un módulo de membrana 220 que contiene una pluralidad de envolturas de la membrana, y/o una placa de membrana única 242. También se muestra con fines ilustrativos un ejemplo de una posición adecuada para las estructuras de guía 144. Como se describió, las estructuras 144 también representan un ejemplo de soportes internos 196. La Figura 36 también ilustra gráficamente un ejemplo de posiciones adecuadas para los puertos 64-68. Para ilustrar adicionalmente las posiciones adecuadas de las placas de membrana y/o envolturas de la membrana dentro de los dispositivos 10 que contienen placas de extremo de acuerdo con la presente invención, las Figuras 37 y 38 ilustran, respectivamente, en líneas discontinuas, una placa de membrana 242, una envoltura de la membrana 200 y/o un módulo de membrana 220 posicionado dentro de un dispositivo 10 que incluye las placas de extremo mostradas en las Figuras 13-14 y 21-25.

La cubierta 62 se ha descrito como que interconecta las placas de extremo para definir con ello el compartimiento interno 18. Está dentro del alcance de la invención que la cubierta puede formarse a partir de una pluralidad de placas interconectadas 230. Por ejemplo, un módulo de membrana 220 que incluye una o más envolturas de la membrana 200 puede formar una cubierta 62 debido a que las regiones perimetrales de cada una de las placas pueden formar un sello

hermético al fluido, o al menos sustancialmente hermético al fluido entre las mismas. Un ejemplo de tal construcción se muestra en la Figura 39, en la que se muestra un módulo de membrana 220 que incluye tres envolturas de la membrana 200. Debe entenderse que la cantidad de envolturas de la membrana puede variar, desde una envoltura única o incluso una placa de membrana única 242, hasta una docena o más. En la Figura 39, las placas de extremo 60 se representan esquemáticamente con configuraciones generalmente rectangulares para ilustrar que otras configuraciones distintas de las configuraciones circulares están dentro del alcance de la invención. Debe entenderse que las placas de extremo 60 representadas esquemáticamente pueden tener cualquiera de las configuraciones de placa de extremo descritas, ilustradas y/o incorporadas en la presente descripción.

En la descripción anterior, se han descrito ejemplos ilustrativos de materiales de construcción adecuados para los componentes de los dispositivos de purificación de hidrógeno de acuerdo con la presente invención. Debe entenderse que los ejemplos no están destinados a representar una lista exclusiva o cerrada de materiales y métodos ilustrativos, y que está dentro del alcance de la invención que puedan usarse otros materiales. Por ejemplo, en muchos de los ejemplos anteriores, se presentan características o propiedades convenientes para proporcionar una guía para seleccionar materiales adicionales. Esta guía también pretende ser una ayuda ilustrativa, en lugar de enumerar los requisitos esenciales para todas las modalidades.

Como se describió, en las modalidades del dispositivo 10 que incluye una unidad de separación que incluye membranas permeables al hidrógeno 46 y/o selectivas de hidrógeno, los materiales adecuados para las membranas 46 incluyen aleaciones de paladio y paladio. Como también se describió, las membranas pueden estar soportadas por marcos y/o soportes, tal como los marcos descritos anteriormente 240, los soportes 54 y la estructura de pantalla 210. Además, los dispositivos 10 a menudo funcionan con parámetros de operación seleccionados que incluyen temperaturas y presiones elevadas. En tal aplicación, los dispositivos típicamente comienzan en un estado de inicio o funcionamiento inicial, en el que los dispositivos están típicamente a temperatura ambiente y presión, tal como la presión atmosférica y una temperatura de aproximadamente 25 °C. A partir de este estado, el dispositivo se calienta (tal como con la unidad de calentamiento 42) y se presuriza (a través de cualquier mecanismo adecuado) a los parámetros de operación seleccionados, tal como temperaturas de 200 °C o más, y presiones de operación seleccionadas, tal como la presión de 344,7 kPa (50 psi) o más.

Cuando los dispositivos 10 se calientan, los componentes de los dispositivos se expandirán. El grado en que los componentes se amplían o expanden se define en gran medida por el coeficiente de expansión térmica (CTE) de los materiales a partir de los cuales se forman los componentes. En consecuencia, estas diferencias en los CTE tenderán a hacer que los componentes se expandan a diferentes velocidades, lo que ejerce de esta manera tensión o compresión adicional en algunos componentes y/o reduce la tensión o compresión en otros.

Por ejemplo, considere una membrana selectiva de hidrógeno 46 formada a partir de una aleación de 60 % en peso de paladio y 40 % en peso de cobre (Pd-40Cu). Tal membrana tiene un coeficiente de expansión térmica de 14,9 $\mu\text{m}/\text{m}/^\circ\text{C}$. Además, considere que la membrana se asegura a un marco estructural 230 u otra sujeción, o se retiene contra un soporte 54 formado a partir de un material que tiene un CTE diferente al de Pd-40Cu u otro material del cual se forma la membrana 46. Cuando un dispositivo 10 en el que se hacen funcionar estos componentes se calienta a partir de una configuración ambiente o de reposo, los componentes se expandirán a diferentes velocidades. Típicamente, el dispositivo 10 tiene un ciclo térmico dentro de un rango de temperatura de al menos 200 °C, y a menudo dentro de un rango de al menos 250 °C, 300 °C o más. Si el CTE de la membrana es menor que el CTE del componente estructural adyacente, entonces la membrana tenderá a estirarse a medida que se calientan los componentes.

Además de este estiramiento inicial, debe considerarse que los dispositivos de purificación de hidrógeno experimentan típicamente ciclos térmicos cuando se calientan para su uso, luego se enfrían o se dejan enfriar cuando no están en uso, luego se recalientan, se vuelven a enfriar, etc. En tal aplicación, la membrana estirada puede arrugarse a medida que se comprime hacia su configuración original a medida que la membrana y otro(s) componente(s) estructural(es) se enfrían.

Por otro lado, si el CTE de la membrana es mayor que el CTE del componente estructural adyacente, luego la membrana tenderá a comprimirse durante el calentamiento del dispositivo, y esta compresión puede causar arrugas en la membrana. Durante el enfriamiento, o cuando los componentes se enfrían, la membrana vuelve a su configuración original.

Como ejemplo ilustrativo, considere la placa de membrana 242 que se muestra en la Figura 34. Si el CTE de la membrana 46 es mayor que el CTE del miembro del marco 230, que típicamente tiene una composición diferente a la membrana 46, entonces la membrana tenderá a expandirse más rápido cuando se calienta que el marco. En consecuencia, se impartirán fuerzas de compresión a la membrana desde el marco 230, y estas fuerzas pueden producir arrugas en la membrana. Por el contrario, si el CTE de la membrana 46 es menor que el CTE del marco 230, entonces el marco se expandirá más rápido cuando se calienta que la membrana 46. A medida que esto ocurre, se impartirán fuerzas de expansión a la membrana, ya que la expansión del marco en esencia trata de estirar la membrana. Si bien ninguna de estas situaciones es conveniente, en comparación con una modalidad en la que el marco y la membrana tienen el mismo o esencialmente el mismo CTE, el primer escenario puede ser el más conveniente de los dos en algunas modalidades debido a que puede ser menos probable que produzca arrugas en la membrana.

El arrugamiento de la membrana 46 puede causar agujeros y grietas en la membrana, especialmente a lo largo de las arrugas donde la membrana se fatiga. En regiones donde dos o más arrugas se intersecan, la probabilidad de que se formen agujeros y/o grietas aumenta debido a que esa porción de la membrana se ha arrugado en al menos dos direcciones diferentes. Debe entenderse que los agujeros y las grietas disminuyen la selectividad de la membrana para el gas hidrógeno debido a que los agujeros y/o las grietas no son selectivos para el gas hidrógeno y, en cambio, permiten que cualquiera de los componentes de la corriente de gas mixto pase a los mismos. Durante los ciclos térmicos repetidos de la membrana, estos puntos o regiones de falla tenderán a aumentar de tamaño, lo que disminuirá de esta manera aún más la pureza de la corriente rica en hidrógeno o de permeado. Debe entenderse además que estas arrugas pueden ser causadas por fuerzas impartidas a la membrana desde porciones del dispositivo 10 que entran en contacto con la membrana directamente, y que en consecuencia pueden denominarse como porciones o estructura en contacto con la membrana, o por otras porciones del dispositivo que no entran en contacto con la membrana pero que al expandirse y/o enfriarse imparten fuerzas que se transmiten a la membrana. Los ejemplos de estructura en contacto con la membrana incluyen marcos u otras sujeciones 52 y soportes 54 sobre los cuales se monta la membrana o con los cuales la membrana 46 está en contacto incluso si la membrana no está realmente asegurada o montada de cualquier otra manera en la misma. Los ejemplos de porciones del dispositivo 10 que pueden, al menos en algunas modalidades, impartir fuerzas inductoras de arrugas a la membrana 46 incluyen el recinto 12, y porciones del mismo tal como una o más placas de extremo 60 y/o la cubierta 62. Otros ejemplos incluyen juntas y separadores entre las placas de extremo y los marcos u otras sujeciones para la membrana, y en las modalidades del dispositivo 10 que incluyen una pluralidad de membranas, entre los marcos adyacentes u otros soportes o sujeciones para las membranas.

Un enfoque para protegerse contra la falla de la membrana debido a las diferencias en el CTE entre las membranas y los componentes estructurales adyacentes es colocar juntas deformables entre la membrana y cualquier componente del dispositivo 10 que haga contacto con la membrana y tenga suficiente rigidez o estructura para impartir fuerzas de compresión o tracción a la membrana que pueden arrugar la membrana. Por ejemplo, en la Figura 33, la membrana 46 se muestra intercalada entre la placa de alimentación 238 y la junta de permeado 236, ambas pueden formarse de un material deformable. En tal modalidad y con tal construcción, las juntas deformables amortiguan, o absorben, al menos una porción significativa de las fuerzas de compresión o de tracción que de cualquier otra manera se ejercerían sobre la membrana 46.

En las modalidades donde cualquiera o ambos de estos marcos no se forman a partir de un material deformable (es decir, un material elástico que puede comprimirse o expandirse a medida que las fuerzas se imparten al mismo y que vuelve a su configuración original al eliminarse esas fuerzas), cuando se monta la membrana 46 en una placa 242 que tiene un grosor y/o composición que puede ejercer las fuerzas de tracción o compresión de arrugamiento descritas anteriormente en la membrana 46, o cuando el soporte 54 se une (o se asegura bajo la presión de funcionamiento seleccionada) a la membrana 46, puede usarse adicional o alternativamente un enfoque diferente. Más específicamente, la vida útil de las membranas se puede aumentar formando componentes del dispositivo 10 que de cualquier otra manera impartirían fuerzas de arrugamiento, ya sea de tracción o de compresión, a la membrana 46 a partir de materiales que tienen un CTE que es igual o similar al del material o materiales a partir de los cuales se forma la membrana 46.

Por ejemplo, el acero inoxidable Tipo 316 tiene un CTE de 16,0. En consecuencia, el acero inoxidable Tipo 316 tiene un CTE que es aproximadamente un 8 % mayor que el de Pd-40Cu. Puede ser conveniente tener un CTE que sea igual que el CTE del material a partir del cual se forma la membrana 46, o un material que tenga un CTE que esté dentro de un rango seleccionado del CTE del material a partir del cual se selecciona la membrana 46, tal como dentro de ± 0,5 %, 1 %, 2 % o 5 %. Expresado de otra manera, en al menos algunas modalidades, puede ser conveniente formar las porciones en contacto con la membrana u otros elementos del dispositivo a partir de un material o materiales que tienen un CTE que está dentro de ± 1,2, 1, 0,5, 0,2, 0,1 o menos de 0,1 $\mu\text{m}/\text{m}/^\circ\text{C}$ del CTE a partir del cual se forma la membrana 46 al menos sustancialmente. Los materiales que tienen una de las composiciones y/o CTE anteriores con relación al CTE de la membrana 46 pueden referirse en la presente descripción como uno de los CTE seleccionados dentro del contexto de esta descripción.

En la siguiente tabla, se presentan aleaciones ilustrativas y sus correspondientes CTE y composiciones. Debe entenderse que los materiales enumerados en la siguiente tabla se proporcionan con fines ilustrativos.

Tabla 1

Aleación	CTE	Composición nominal												
Tipo/Grado	($\mu\text{m}/\text{m}/^\circ\text{C}$)	C	M n	Ni	Cr	Co	Mo	w	Nb	Cu	Ti	Al	Fe	Si
Pd-40Cu	14,9													
Monel 400 (UNS N04400)	13,9	0,02	1,5	65						32			2,0	
Monel 401 (UNS N04401)	13,7	0,05	2,0	42						54			0,5	
Monel 405 (UNS N04405)	13,7	0,02	1,5	65						32			2,0	
Monel 500 (UNS N05500)	13,7	0,02	1,0	65						32	0,6		1,5	

ES 2 733 017 T3

	Inoxidables Tipo 304 (UNS S30400)	17,3	0,05	1,5	9,0	19,0								Bal	0,5
	Inoxidables Tipo 316 (UNS S31600)	16,0	0,05	1,5	12,0	17,0		2,5						Bal	0,5
5	Inoxidables Tipo 310S (UNS S31008)	15,9	0,05	1,5	20,5	25,0								Bal	1,1
	Inoxidables Tipo 330 (UNS N08330)	14,4	0,05	1,5	35,5	18,5								Bal	1,1
	Inoxidables Tipo AISI 661 (UNS R30155)	14,0	0,1	1,5	20,0	21,0	20,5	3,0	2,5	1,0				31,0	0,8
10	Inconel 600 (UNS N06600)	13,3	0,08		76,0	15,5								8,0	
	Inconel 601 (UNS N06601)	13,75	0,05		60,5	23,0				0,5		1,35	14,1		
	Inconel 625 (UNS N06625)	12,8	0,05		61,0	21,5		9,0		3,6		0,2	0,2	2,5	
15	Incoloy 800 (UNS N08800)	14,4	0,05	0,8	32,5						0,4	0,4	0,4	46,0	0,5
	Aleación Nimónica 901 (UNS N09901)	13,5	0,05		42,5	12,5		6,0				2,7		36,2	
	Hastelloy X (UNS N06002)	13,3	0,15		49,0	22,0	1,5	9,0	0,6				2	15,8	
20	Inconel 718 UNS N07718)	13,0	0,05		52,5	19,0		3,0		5,1		0,9	0,5	18,5	
	Haynes 230 (UNS N06002)	12,7	0,1		55,0	22,0	5,0	2,0	14				0,35	3,0	

De la información anterior, puede observarse que las aleaciones tales como el acero inoxidable Tipo 330 e Incoloy 800 tienen CTE que están dentro de aproximadamente el 3 % del CTE de Pd40Cu, y Monel 400 y los aceros inoxidables Tipos 310S tienen CTE que se desvían del CTE de Pd40Cu en menos del 7 %.

Para ilustrar que la selección de materiales puede variar con el CTE de la membrana en particular que se usa, considere un material para la membrana 46 que tenga un coeficiente de expansión térmica de $13,8 \mu\text{m}/\text{m}/^\circ\text{C}$. En la tabla anterior, puede observarse que las aleaciones Monel e Inconel 600 tienen CTE que se desvían, o difieren del CTE de la membrana en $0,1 \mu\text{m}/\text{m}/^\circ\text{C}$. Como otro ejemplo, considere una membrana que tiene un CTE de $13,4 \mu\text{m}/\text{m}/^\circ\text{C}$. Hastelloy X tiene un CTE que corresponde al de la membrana, y que las aleaciones de Monel e Inconel 601 tienen CTE que están dentro de aproximadamente el 1 % del CTE de la membrana. Del ejemplo ilustrativo de los materiales enumerados en la tabla, todas las aleaciones distintas de Hastelloy X, Incoloy 800 y las series Tipo 300 de aleaciones de acero inoxidable tienen CTE que están dentro del 2 % del CTE de la membrana y todas las aleaciones excepto las aleaciones de acero inoxidable Tipo 304, 316 y 310S tienen CTE que están dentro del 5 % del CTE de la membrana.

Los ejemplos de componentes del dispositivo 10 que pueden formarse a partir de un material que tiene un CTE seleccionado con relación a la membrana 46, tal como un CTE correspondiente a o dentro de uno de los rangos seleccionados del CTE de la membrana 46, incluyen uno o más de los siguientes: soporte 54, miembros de pantalla 212, pantalla fina o exterior o miembro de metal expandido 216, miembro de pantalla interior 214, marco de membrana 240, marco de permeado 232, placa de permeado 234, placa de alimentación 238. Por lo anterior, debe entenderse que uno de los componentes anteriores puede formarse a partir de tal material, más de uno de los componentes anteriores puede formarse a partir de tal material, pero que no se requiere que ninguno de los componentes anteriores se forme a partir de tal material. De manera similar, las membranas 46 pueden formarse a partir de materiales distintos de Pd-40Cu, y como tales, los CTE seleccionados variarán en dependencia de la composición particular de las membranas 46.

A modo de ilustración adicional, un dispositivo 10 puede formarse con un módulo de membrana 220 que incluye una o más envolturas de la membrana 200 con un soporte que incluye una estructura de pantalla que se forma completamente de un material que tiene uno de los CTE seleccionados. Como otro ejemplo, solo los miembros de pantalla externos, o en contacto con la membrana (tal como los miembros 216) pueden formarse a partir de un material que tiene uno de los CTE seleccionados, con el miembro o miembros internos que se forman a partir de un material que no tiene uno de los CTE seleccionados. Como otro ejemplo ilustrativo, el miembro de pantalla interior 214 puede formarse a partir de un material que tiene uno de los CTE seleccionados, con los miembros en contacto con la membrana que se forman a partir de un material que no tiene uno de los CTE seleccionados, etc.

En algunas modalidades, puede ser suficiente que solo las porciones del soporte que tienen la rigidez suficiente para causar arrugas en las membranas durante el ciclo térmico y otros usos previstos del dispositivo de purificación se formen a partir de un material que tenga uno de los CTE seleccionados. Como ejemplo ilustrativo, considere la estructura de pantalla 210, que se muestra en la Figura 32. En la modalidad ilustrativa, la estructura de pantalla se adapta para posicionarse entre un par de membranas 46, y la estructura de pantalla incluye un par de miembros de pantalla externos o en contacto con la membrana 216, y un miembro de pantalla interno 214 que no está en contacto con las membranas. Típicamente, pero no exclusivamente, los miembros de pantalla externa se forman por un material que es menos rígido y, a menudo, más fino que el miembro de pantalla interno, que tiende a tener una construcción más rígida y, a menudo, más gruesa. En tal modalidad, el miembro de pantalla interno puede formarse a partir de un material que tiene uno de los CTE seleccionados, tal como una aleación que incluye níquel y cobre, tal como Monel, con los miembros de pantalla

externos que se forman de acero inoxidable convencional, tal como acero inoxidable Tipo 304 o Tipo 316. Tal estructura de pantalla también puede describirse como que tiene un miembro de pantalla en contacto con la membrana con un CTE que difiere del CTE de la membrana 46 más que el CTE del material del que se forma el miembro de pantalla interno. Sin embargo, como se describió, también está dentro del alcance de la invención que todos los miembros de pantalla puedan formarse a partir de una aleación que incluya níquel y cobre, tal como Monel, u otro material que tenga uno de los CTE seleccionados.

Esta construcción también puede aplicarse a soportes que incluyen más de un miembro o capa de pantalla, pero que solo soportan una membrana. Por ejemplo, y con referencia a la Figura 2, el soporte puede incluir una capa o miembro de pantalla en contacto con la membrana 214', que puede tener una construcción como la de un miembro de pantalla 214. La capa 214' se acopla y se extiende a través de al menos una porción sustancial de la cara de la membrana, pero típicamente no proporciona suficiente apoyo a la membrana cuando el dispositivo de purificación se presuriza y está en uso. El soporte puede incluir además una segunda capa o segundo miembro de pantalla 216', que puede tener una construcción similar al miembro de pantalla 216 y que se extiende generalmente paralelo a la primera capa pero en el lado opuesto de la primera capa de la membrana. Esta segunda capa es más rígida que la primera capa, de manera que proporciona una estructura de pantalla compuesta que tiene suficiente resistencia, o rigidez, para soportar la membrana cuando está en uso. Cuando se usa tal construcción, puede (pero no se requiere) implementarse con la segunda capa, o el miembro de pantalla se formará a partir de una aleación de níquel y cobre, tal como Monel, u otro material que tenga un CTE seleccionado, y con la capa en contacto con la membrana, o miembro de pantalla, que se forma a partir de un material que tiene un CTE que difiere del CTE de la membrana en una cantidad mayor que el material del cual se forma la segunda capa. Además, la capa en contacto con la membrana puede describirse como que se forma a partir de un material que no incluye una aleación de níquel y cobre.

Otro ejemplo de configuraciones ilustrativas, un dispositivo 10 puede tener una única membrana 46 soportada entre las placas de extremo 60 del recinto mediante una o más sujeciones 52 y/o uno o más soportes 54. Las sujeciones y/o los soportes pueden formarse a partir de un material que tiene uno de los CTE seleccionados. De manera similar, al menos una porción del recinto 12, tal como una o ambas placas de extremo 60 o cubierta 62, pueden formarse a partir de un material que tenga uno de los CTE seleccionados.

En las modalidades del dispositivo 10 en las cuales hay componentes del dispositivo que no entran en contacto directo con la membrana 46, estos componentes todavía pueden formarse a partir de un material que tiene uno de los CTE seleccionados. Por ejemplo, una porción o la totalidad del recinto 12, tal como una o ambas placas de extremo 60 o cubierta 62, pueden formarse a partir de un material, que incluye una de las aleaciones enumeradas en la Tabla 1, que tienen uno de los CTE seleccionados con respecto al CTE del material a partir del cual se forma la membrana 46, aun cuando estas porciones no entren directamente en contacto con la membrana 46.

Un dispositivo de purificación de hidrógeno 10 puede acoplarse a, o estar en comunicación continua con, cualquier fuente de gas hidrógeno impuro. Los ejemplos de estas fuentes incluyen dispositivos de almacenamiento de gas, tales como lechos de hidruros y tanques presurizados. Otra fuente es un aparato que produce como un subproducto, escape o corriente de desecho una corriente de gas desde la cual puede recuperarse gas hidrógeno. Aún otra fuente es un procesador de combustible, que, como se usa en la presente descripción, se refiere a cualquier dispositivo que se adapta para producir una corriente de gas mixto que contiene gas hidrógeno de al menos una corriente de alimentación que contiene una materia prima. Típicamente, el gas hidrógeno formará una mayoría o al menos una porción sustancial de la corriente de gas mixto producida por un procesador de combustible.

Un procesador de combustible puede producir una corriente de gas mixto 24 a través de una variedad de mecanismos. Los ejemplos de mecanismos adecuados incluyen reformado al vapor y reformado autotérmico, en el que los catalizadores de reformado se usan para producir gas hidrógeno a partir de una corriente de alimentación que contiene una materia prima que contiene carbono y agua. Otros mecanismos adecuados para producir gas hidrógeno incluyen pirólisis y oxidación parcial catalítica de una materia prima que contiene carbono, en cuyo caso la corriente de alimentación no contiene agua. Aún otro mecanismo adecuado para producir gas hidrógeno es la electrólisis, en cuyo caso la materia prima puede ser agua. Los ejemplos de materias primas que contienen carbono adecuadas incluyen al menos un hidrocarburo o alcohol. Los ejemplos de hidrocarburos adecuados incluyen metano, propano, gas natural, diésel, keroseno, gasolina y similares. Los ejemplos de alcoholes adecuados incluyen metanol, etanol, y polioles, tal como etilenglicol y propilenglicol.

En la Figura 40 se muestra esquemáticamente un dispositivo de purificación de hidrógeno 10 adaptado para recibir la corriente de gas mixto 24 de un procesador de combustible. Como se muestra, el procesador de combustible generalmente se indica en 300, y la combinación de un procesador de combustible y un dispositivo de purificación de hidrógeno puede denominarse como un sistema de procesamiento de combustible 302. También se muestra en líneas discontinuas en 42 una unidad de calentamiento, que como se describe proporciona calor al dispositivo 10 y puede tomar una variedad de formas. El procesador de combustible 300 puede tomar cualquiera de las formas descritas anteriormente. Para ilustrar gráficamente que un dispositivo de purificación de hidrógeno también puede recibir una corriente de gas mixto 24 de fuentes distintas al procesador de combustible 300, se ilustra esquemáticamente un dispositivo de almacenamiento de gas en 306 y un aparato que produce una corriente de gas mixto 24 como una corriente de residuos o subproductos en el curso de la producción de una corriente de producto diferente 308 se muestra en 310. Debe

entenderse que la representación esquemática del procesador de combustible 300 pretende incluir cualquier unidad de calentamiento asociada, sistemas de suministro de materia prima, sistemas de suministro de aire, fuentes o suministros de corriente de alimentación, etc.

5 Los procesadores de combustible a menudo se hacen funcionar a temperaturas y/o presiones elevadas. Como resultado, puede ser conveniente integrar al menos parcialmente el dispositivo de purificación de hidrógeno 10 con el procesador de combustible 300, a diferencia de tener el dispositivo 10 y el procesador de combustible 300 conectados por conductos de transporte de fluido externos. Un ejemplo de tal configuración se muestra en la Figura 42, en la que el procesador de combustible incluye una cubierta o carcasa 312, cuyo dispositivo 10 forma una porción de y/o se extiende al menos
10 parcialmente dentro. En tal configuración, el procesador de combustible 300 puede describirse como que incluye el dispositivo 10. La integración del procesador de combustible u otra fuente de corriente de gas mixto 24 con el dispositivo de purificación de hidrógeno 10 permite que los dispositivos se muevan más fácilmente como una unidad. También permite que los componentes del procesador de combustible, que incluye el dispositivo 10, se calienten mediante una unidad de calentamiento común y/o al menos algunos, si no todos, los requisitos de calentamiento del dispositivo 10 deben
15 satisfacerse con el calor generado por el procesador 300.

Como se describió, el procesador de combustible 300 es cualquier dispositivo adecuado que produce una corriente de gas mixto que contiene gas hidrógeno, y preferentemente una corriente de gas mixto que contiene una mayoría de gas hidrógeno. Para propósitos de ilustración, la siguiente descripción describirá el procesador de combustible 300 que se
20 adapta para recibir una corriente de alimentación 316 que contiene una materia prima que contiene carbono 318 y agua 320, como se muestra en la Figura 42. Sin embargo, el procesador de combustible 300 puede tomar otras formas, como se describió anteriormente, y esa corriente de alimentación 316 puede tener otras composiciones, tales como que contengan solo una materia prima que contiene carbono o solo agua.

25 La corriente de alimentación 316 puede entregarse al procesador de combustible 300 a través de cualquier mecanismo adecuado. En la Figura 42 se muestra una sola corriente de alimentación 316, pero debe entenderse que puede usarse más de una corriente 316 y que estas corrientes pueden contener los mismos componentes o componentes diferentes. Cuando la materia prima que contiene carbono 318 es miscible con agua, la materia prima se entrega típicamente con el componente de agua de la corriente de alimentación 316, tal como se muestra en la Figura 42. Cuando el material de
30 alimentación que contiene carbono no es miscible o solo ligeramente miscible con agua, estos componentes se entregan típicamente al procesador de combustible 300 en corrientes separadas, tal como se muestra en líneas discontinuas en la Figura 42. En la Figura 42, se muestra la corriente de alimentación 316 que se entrega al procesador de combustible 300 por un sistema de suministro de corriente de alimentación 317. El sistema de suministro 317 incluye cualquier mecanismo adecuado, dispositivo o combinación de los mismos que entrega la corriente de alimentación al procesador de combustible
35 300. Por ejemplo, el sistema de suministro puede incluir una o más bombas que entregan los componentes de la corriente 316 desde un suministro. Adicional o alternativamente, el sistema 317 puede incluir un conjunto de válvulas adaptado para regular el flujo de los componentes desde un suministro presurizado. Los suministros pueden localizarse fuera del sistema de célula de combustible, o pueden contenerse dentro o adyacentes al sistema.

40 Como se indica generalmente en 312 en la Figura 42, el procesador de combustible 300 incluye una región productora de hidrógeno en la que la corriente de gas mixto 24 se produce a partir de la corriente de alimentación 316. Como se describió, puede utilizarse una variedad de procesos diferentes en la región productora de hidrógeno. Un ejemplo de tal proceso es el reformado al vapor, en el que la región 312 incluye un catalizador de reformado al vapor 334. Alternativamente, la región 312 puede producir la corriente 24 mediante reformado autotérmico, en cuyo caso la región 312 incluye un catalizador de reformado autotérmico. En el contexto de un reformador al vapor o autotérmico, la corriente de gas mixto 24 también
45 puede denominarse como corriente de reformado. Preferentemente, el procesador de combustible se adapta para producir gas hidrógeno sustancialmente puro, y aún con mayor preferencia, el procesador de combustible se adapta para producir gas hidrógeno puro. Para los fines de la presente invención, el gas hidrógeno sustancialmente puro tiene una pureza superior al 90 %, preferentemente una pureza mayor que 95 %, con mayor preferencia una pureza mayor que 99 %, e aún con mayor preferencia una pureza mayor que 99,5 %. Los ejemplos de procesadores de combustible adecuados se describen en la patente de Estados Unidos núm. 6,221,117 solicitud de patente de Estados Unidos pendiente con número de serie 09/802,361, que se presentó el 8 de marzo de 2001, y se titula "Fuel Processor and Systems and Devices
50 Containing the Same" y la solicitud de patente de Estados Unidos pendiente con número de serie 09/812,499, que se presentó el 19 de marzo de 2001, y se titula "Hydrogen-Selective Metal Membrane Modules and Method of Forming the Same,".

El procesador de combustible 300 puede, pero no necesariamente, incluir además una región de pulido 348, tal como se muestra en líneas discontinuas en la Figura 42. La región de pulido 348 recibe la corriente rica en hidrógeno 34 del dispositivo 10 y purifica aún más la corriente mediante la reducción de la concentración o mediante la eliminación de las
60 composiciones seleccionadas en la misma. En la Figura 42, la corriente resultante se indica en 314 y puede denominarse como una corriente de hidrógeno producto o una corriente de hidrógeno purificado. Cuando el procesador de combustible 300 no incluye la región de pulido 348, la corriente rica en hidrógeno 34 forma la corriente de hidrógeno del producto 314. Por ejemplo, cuando la corriente 34 se diseña para su uso en una pila de células de combustible, las composiciones que pueden dañar la pila de células de combustible, tal como el monóxido de carbono y el dióxido de carbono, pueden eliminarse de la corriente rica en hidrógeno, si es necesario. La concentración de monóxido de carbono debe ser inferior
65 a 10 ppm (partes por millón) para evitar que el sistema de control aisle la pila de células de combustible. Preferentemente,

el sistema limita la concentración de monóxido de carbono a menos de 5 ppm, y aún con mayor preferencia, a menos de 1 ppm. La concentración de dióxido de carbono puede ser mayor que la del monóxido de carbono. Por ejemplo, las concentraciones de menos de 25 % de dióxido de carbono pueden ser aceptables. Preferentemente, la concentración es inferior al 10 %, aún con mayor preferencia, inferior al 1 %. Las concentraciones especialmente preferidas son menos de 50 ppm. Debe entenderse que las concentraciones mínimas aceptables presentadas en la presente descripción son ejemplos ilustrativos, y que pueden usarse otras concentraciones distintas a las presentadas en la presente descripción y están dentro del alcance de la presente invención. Por ejemplo, los usuarios o fabricantes particulares pueden requerir niveles o rangos de concentración mínimos o máximos que sean diferentes a los identificados en la presente descripción.

La región 348 incluye cualquier estructura adecuada para eliminar o reducir la concentración de las composiciones seleccionadas en la corriente 34. Por ejemplo, cuando la corriente del producto se destina para usarse en una pila de células de combustible PEM u otro dispositivo que se dañará si la corriente contiene más de las concentraciones determinadas de monóxido de carbono o dióxido de carbono, puede ser conveniente incluir al menos un lecho de catalizador de metanización 350. El lecho 350 convierte el monóxido de carbono y el dióxido de carbono en metano y agua, los cuales no dañarán una pila de células de combustible PEM. La región de pulido 348 también puede incluir otra región productora de hidrógeno 352, tal como otro lecho de catalizador de reformado, para convertir cualquier materia prima sin reaccionar en gas hidrógeno. En tal modalidad, es conveniente que el segundo lecho de catalizador de reformado esté aguas arriba del lecho de catalizador de metanización para no reintroducir el dióxido de carbono o el monóxido de carbono aguas abajo del lecho de catalizador de metanización.

Los reformadores al vapor operan típicamente a temperaturas en el rango de 200 °C y 700 °C, y a presiones en el rango de 344,7 kPa (50 psi) y 6894,8 kPa (1000 psi), aunque las temperaturas fuera de este rango dependen del tipo particular y configuración del procesador de combustible que se usa. Puede usarse cualquier mecanismo o dispositivo de calentamiento adecuado para proporcionar este calor, tal como un calentador, un quemador, un catalizador de combustión o similares. La unidad de calentamiento puede ser externa al procesador de combustible o puede formar una cámara de combustión que forma parte del procesador de combustible. El combustible para la unidad de calentamiento puede proporcionarse por el procesamiento de combustible o el sistema de célula de combustible, por una fuente externa, o ambos.

En la Figura 42, se muestra el procesador de combustible 300 que incluye una cubierta 312 en la que se contienen los componentes descritos anteriormente. La cubierta 312, que también puede denominarse como carcasa, permite que los componentes del procesador de combustible se muevan como una unidad. También protege los componentes del procesador de combustible contra daños al proporcionar un recinto protector y reduce la demanda de calentamiento del procesador de combustible debido a que los componentes del procesador de combustible pueden calentarse como una unidad. La cubierta 312 puede, pero no necesariamente, incluir material aislante 333, tal como un material aislante sólido, material de capa aislante o una cavidad llena de aire. El procesador de combustible puede formarse sin una carcasa o cubierta. Cuando el procesador de combustible 300 incluye material aislante 333, el material aislante puede ser interno a la cubierta, externo a la cubierta o ambos. Cuando el material aislante es externo a una cubierta que contiene las regiones de reformado, separación y/o pulido descritas anteriormente, el procesador de combustible puede incluir además un recubrimiento exterior o chaqueta externa al aislamiento.

Uno o más de los componentes del procesador de combustible 300 pueden extenderse más allá de la cubierta o localizarse en el exterior, al menos, de la cubierta 312. Por ejemplo, el dispositivo 10 puede extenderse al menos parcialmente más allá de la cubierta 312, como se indica en la Figura 41. Como otro ejemplo, y como se ilustra esquemáticamente en la Figura 42, la región de pulido 348 puede ser una cubierta externa 312 y/o una porción de la región productora de hidrógeno 312 (tal como las porciones de uno o más lechos de catalizadores de reformado) puede extenderse más allá de la cubierta.

Como se indicó anteriormente, el procesador de combustible 300 puede adaptarse para entregar la corriente rica en hidrógeno 34 o la corriente de hidrógeno del producto 314 a al menos una pila de células de combustible, que produce una corriente eléctrica desde la misma. En tal configuración, el procesador de combustible y la pila de células de combustible pueden denominarse como un sistema de células de combustible. Un ejemplo de tal sistema se ilustra esquemáticamente en la Figura 43, en la que una pila de células de combustible generalmente se indica en 322. La pila de células de combustible se adapta para producir una corriente eléctrica de la porción de la corriente de hidrógeno del producto 314 entregada a la misma. En la modalidad ilustrada, se muestran y describen un único procesador de combustible 300 y una pila de células de combustible única 322, sin embargo, debe entenderse que puede usarse más de uno o cualquiera de estos dos componentes. También debe entenderse que estos componentes se han ilustrado esquemáticamente y que el sistema de célula de combustible puede incluir componentes adicionales que no se ilustran específicamente en las figuras, tales como bombas de alimentación, sistemas de suministro de aire, intercambiadores de calor, unidades de calentamiento y similares.

La pila de células de combustible 322 contiene al menos una, y típicamente múltiples, células de combustible 324 que se adaptan para producir una corriente eléctrica a partir de la porción de la corriente de hidrógeno del producto 314 entregada a la misma. Esta corriente eléctrica puede usarse para satisfacer las demandas de energía, o la carga aplicada, de un dispositivo asociado que consume energía 325. Los ejemplos ilustrativos de dispositivos 325 incluyen, pero no deben limitarse a, un vehículo motorizado, un vehículo recreativo, un bote, herramientas, luces o conjuntos de iluminación,

5 aparatos (tal como uno casero u otro aparato), equipos para el hogar, de señalización o de comunicación, etc. Debe
entenderse que el dispositivo 325 se ilustra esquemáticamente en la Figura 43 y pretende representar uno o más
dispositivos o una colección de dispositivos que se adaptan para extraer corriente eléctrica del sistema de célula de
combustible. Una pila de células de combustible incluye típicamente múltiples células de combustible unidas entre las
placas de extremo comunes 323, que contienen conductos de suministro/eliminación de fluido (no se muestran). Los
ejemplos de células de combustible adecuadas incluyen células de combustible de membrana de intercambio de protones
(PEM) y células de combustible alcalinas. La pila de células de combustible 322 puede recibir la totalidad de la corriente
de hidrógeno del producto 314. Una parte o la totalidad de la corriente 314 puede suministrarse adicional o
alternativamente, a través de un conducto adecuado, para usar en otro proceso de consumo de hidrógeno, quemado para
10 combustible o calor, o almacenado para su uso posterior.

Aplicabilidad industrial

15 Los dispositivos de purificación de hidrógeno, los componentes y los sistemas de procesamiento de combustible descritos
son aplicables al procesamiento de combustible y otras industrias en las que se produce y/o utiliza gas hidrógeno.

Aunque la invención se ha descrito en su forma preferida, las modalidades específicas de la misma tal como se describen
e ilustran en la presente descripción no deben considerarse en un sentido limitante, ya que son posibles numerosas
variaciones. De manera similar, cuando las reivindicaciones enumeran "un" o "un primer" elemento o su equivalente, debe
20 entenderse que tales reivindicaciones incluyen la incorporación de uno o más de tales elementos, que no requieren ni
excluyen dos o más de tales elementos.

REIVINDICACIONES

- 5 1. El uso, para evitar la formación de arrugas de al menos una membrana selectiva de hidrógeno (46, 202) en un dispositivo de purificación de hidrógeno (10) que comprende un recinto (12) que define un compartimiento interno (18) y contiene una unidad de separación (20), que divide el compartimiento interno en una región de gas mixto (30) y una región de permeado (32), el dispositivo de purificación de hidrógeno que se adapta para recibir una corriente de gas mixto (24) que contiene gas hidrógeno (26) y otros gases (28) y para producir una corriente (34), que contiene gas hidrógeno puro o al menos sustancialmente puro, en donde el gas hidrógeno sustancialmente puro tiene una pureza superior al 90 %, y una corriente de subproducto (36), que contiene al menos una porción sustancial de los otros gases, a partir de la misma, de medios para soportar dicha al menos una membrana (46), de la cual se selecciona al menos una porción para que tenga un coeficiente de expansión térmica que esté dentro del 10 % del coeficiente de expansión térmica de la al menos una membrana (46, 202).
10
- 15 2. El uso de acuerdo con la reivindicación 1, en donde dicha al menos una porción se forma a partir de una aleación que incluye níquel y cobre.
- 20 3. El uso de acuerdo con la reivindicación 1 o la reivindicación 2, en donde el coeficiente de expansión térmica de dicha al menos una porción está dentro del 5 % del de la al menos una membrana (46, 202), opcionalmente dentro del 2 % de la misma, y opcionalmente además dentro de 1 % de la misma.
- 25 4. El uso de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en donde el coeficiente de expansión térmica de dicha al menos una porción es menor que el de la al menos una membrana.
- 30 5. El uso de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en donde los medios para soporte comprenden al menos uno de una sujeción (52) adaptado para posicionar la membrana dentro del recinto, o un soporte (54) que se extiende a través de al menos una porción sustancial de la membrana (46, 202).
- 35 6. El uso de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en donde dicha al menos una membrana (46, 202) está compuesta de paladio o una aleación de paladio, y opcionalmente una aleación que contiene paladio y 40 % en peso de cobre.
7. El uso de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, en donde el coeficiente de expansión térmica de dicha al menos una porción se desvía del de al menos una membrana en no más de $1 \mu\text{m}/\text{m}/^\circ\text{C}$, y opcionalmente en no más de $0,2 \mu\text{m}/\text{m}/^\circ\text{C}$, y además opcionalmente no más de $0,1 \mu\text{m}/\text{m}/^\circ\text{C}$.
8. El uso de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, en donde la al menos una porción de los medios para soporte incluye una estructura en contacto con la membrana (52, 54, 210, 230, 240).

Fig. 1

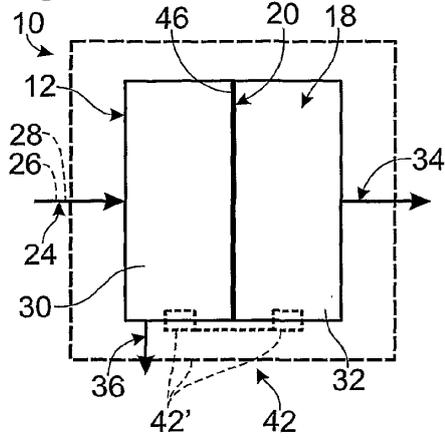


Fig. 2

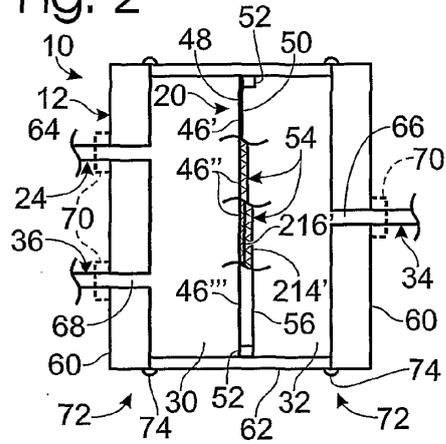


Fig. 3

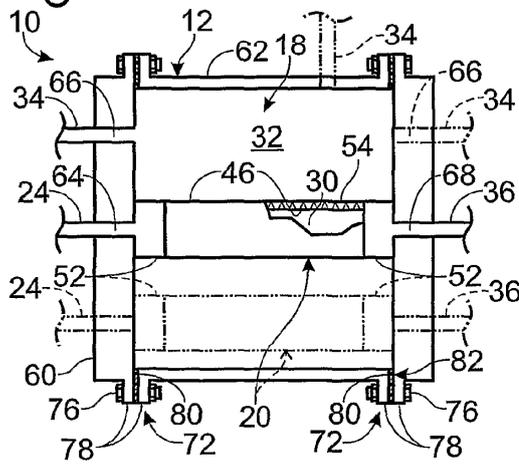


Fig. 4

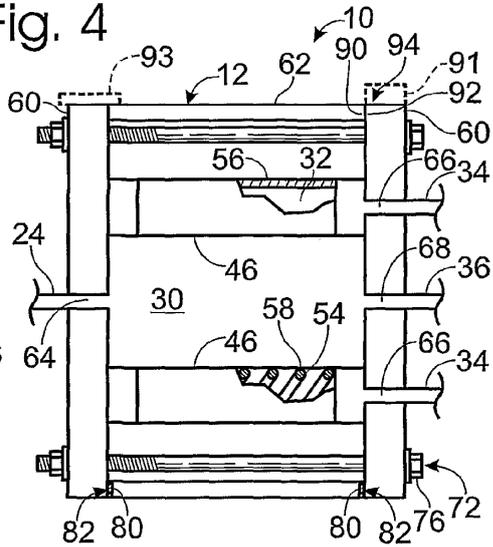


Fig. 5

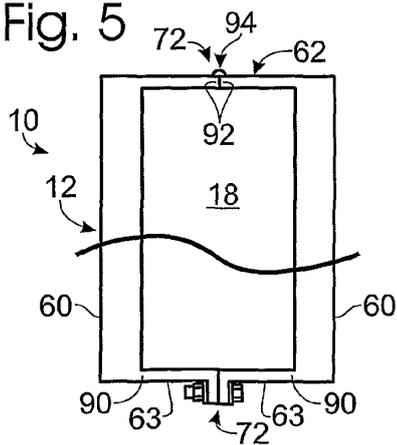
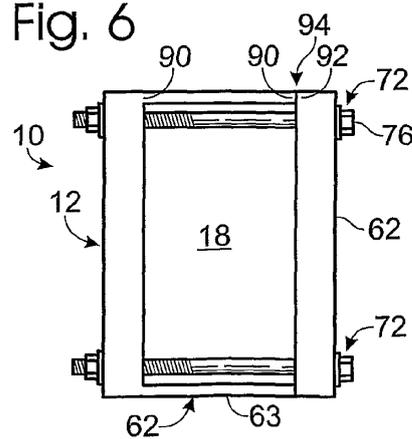


Fig. 6



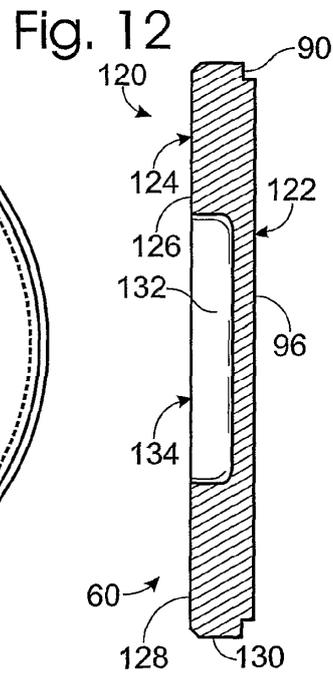
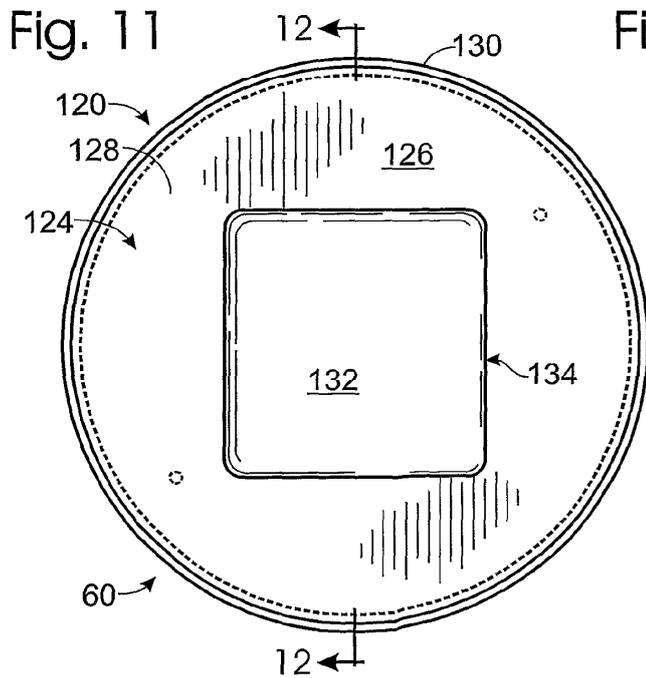
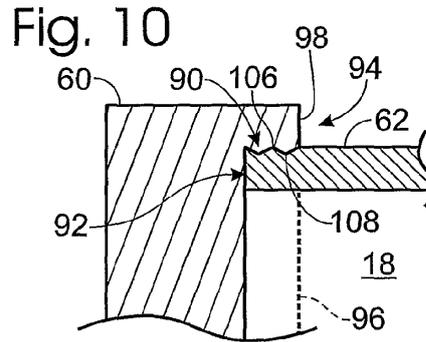
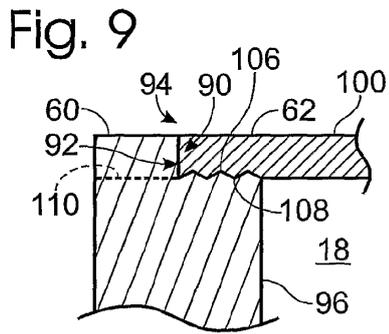
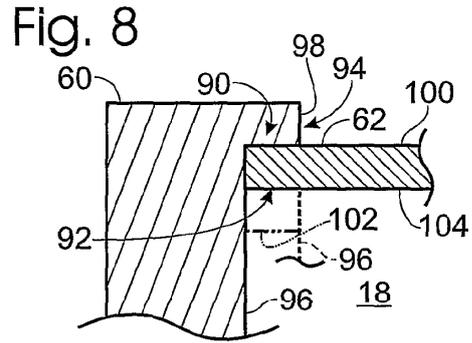
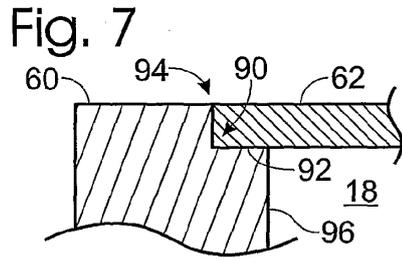


Fig. 13

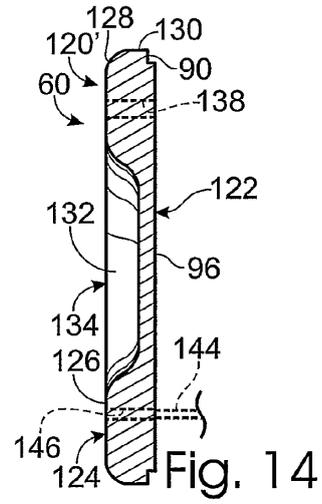
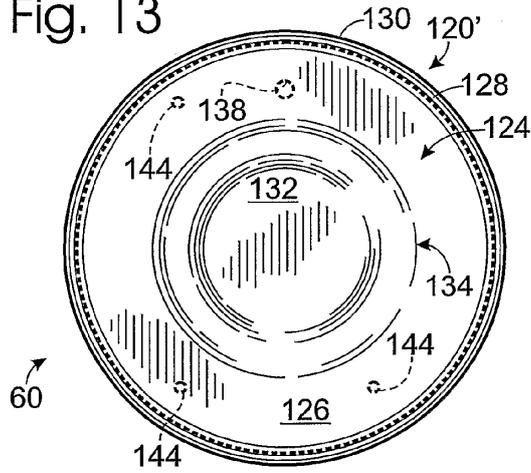


Fig. 14

Fig. 15

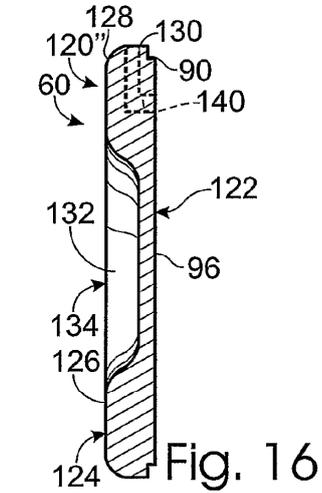
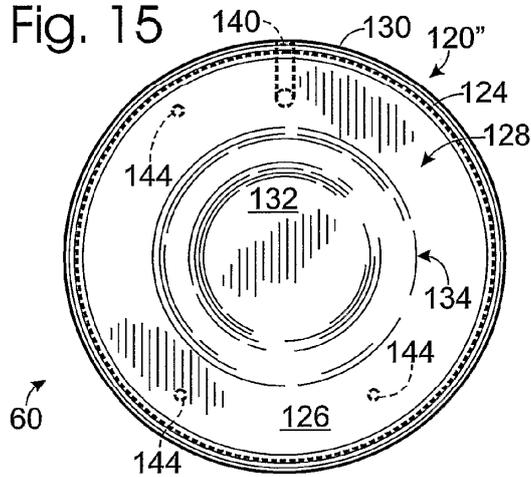


Fig. 16

Fig. 17

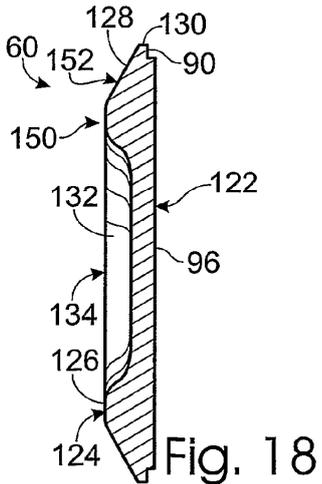
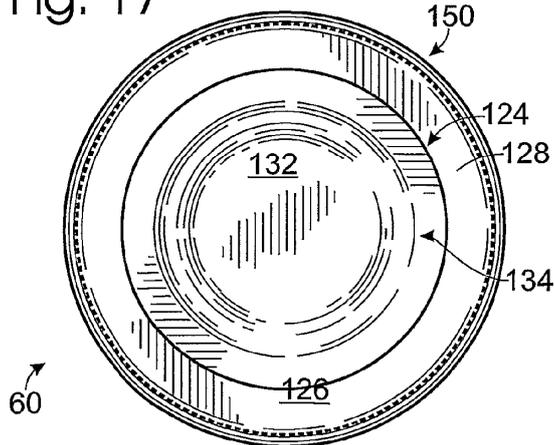


Fig. 18

Fig. 19

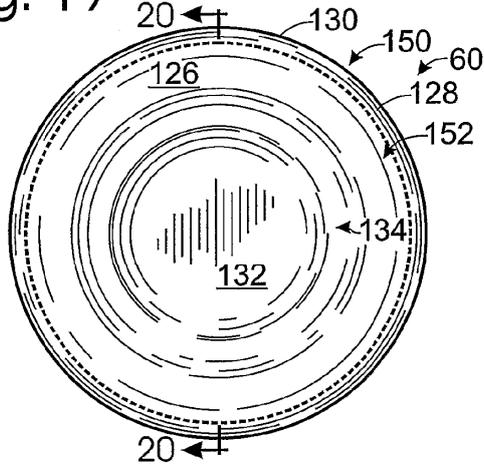


Fig. 20

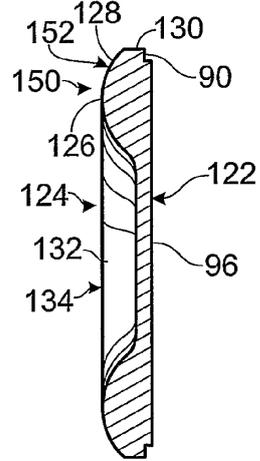


Fig. 21

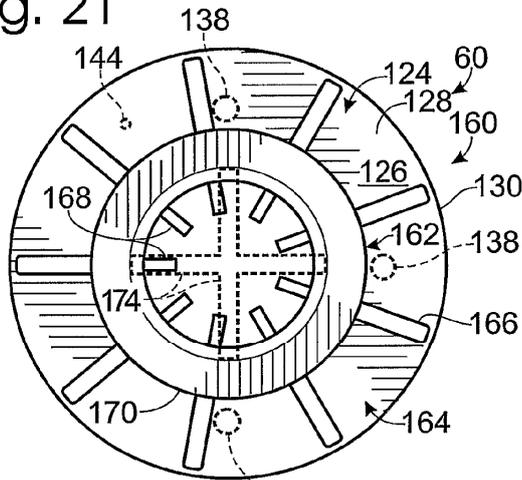


Fig. 22

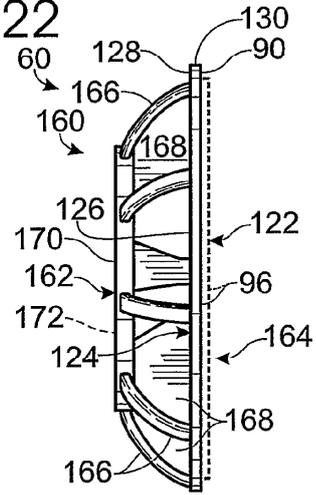


Fig. 23

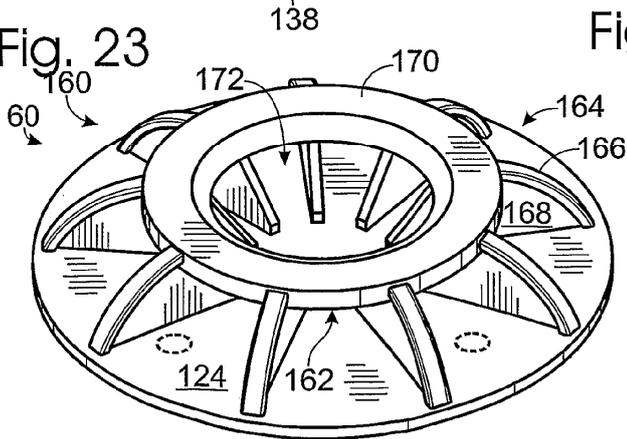


Fig. 24

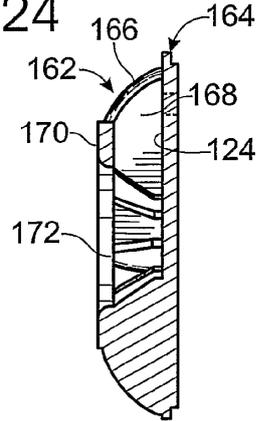


Fig. 25

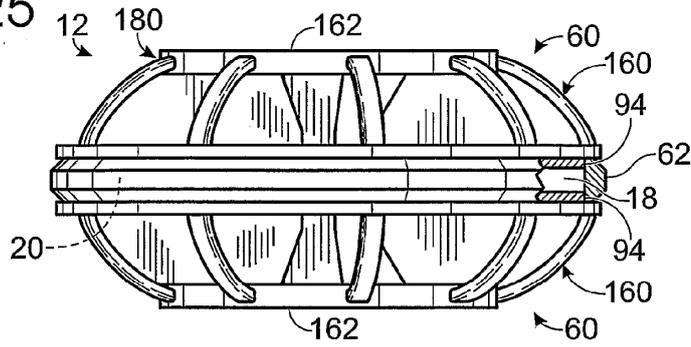


Fig. 26

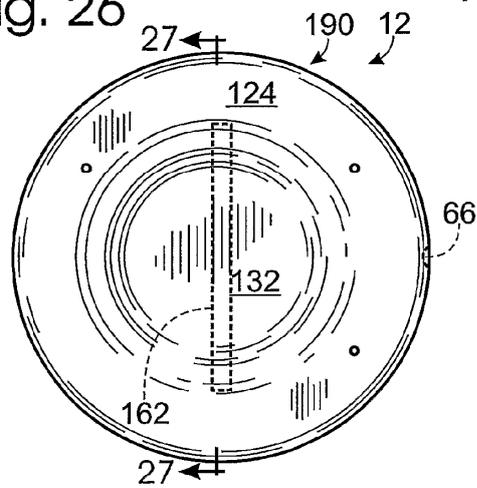


Fig. 27

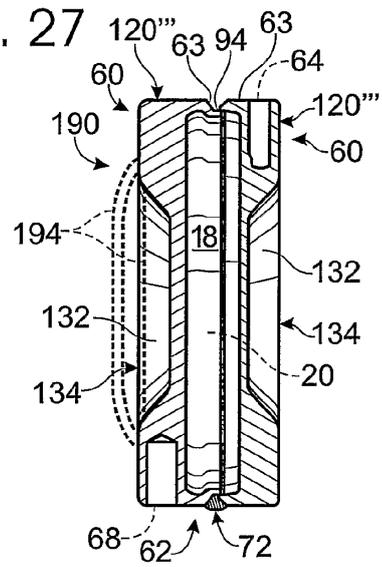


Fig. 28

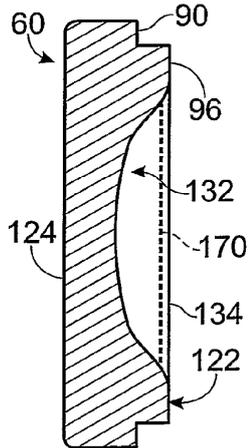


Fig. 29

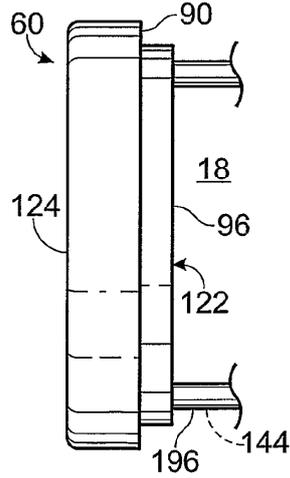


Fig. 30

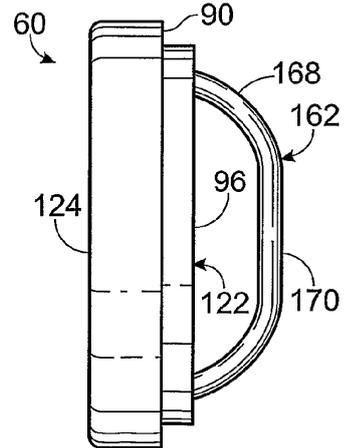


Fig. 31

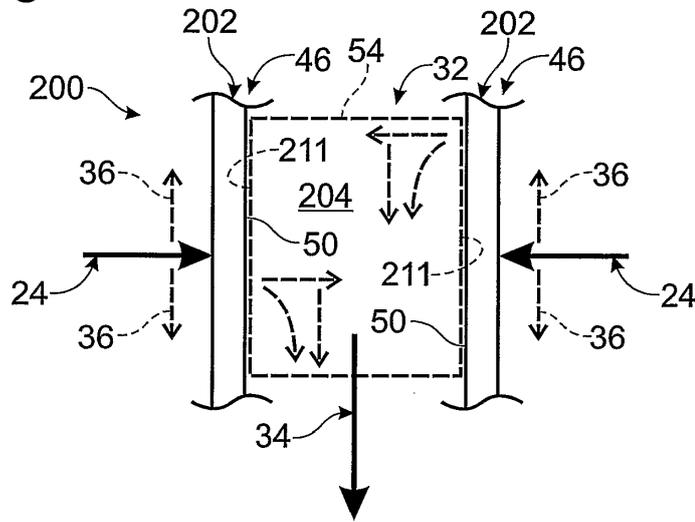


Fig. 32

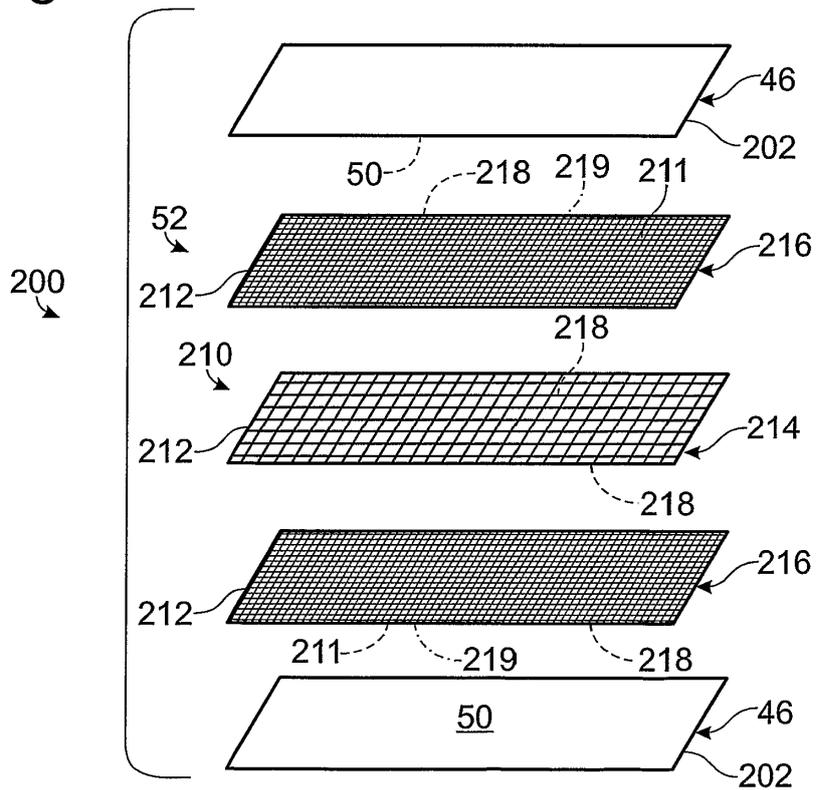


Fig. 34

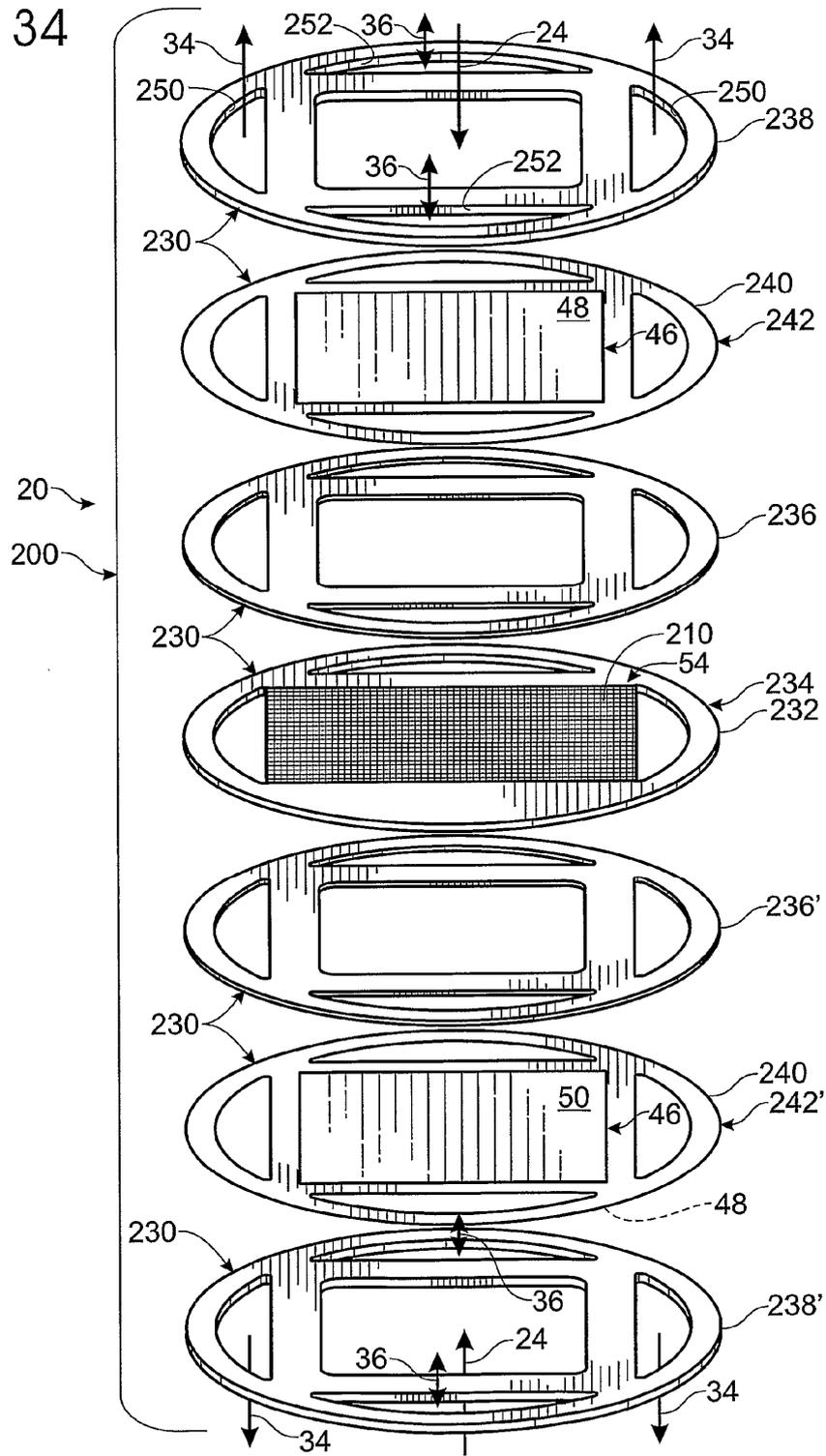


Fig. 36

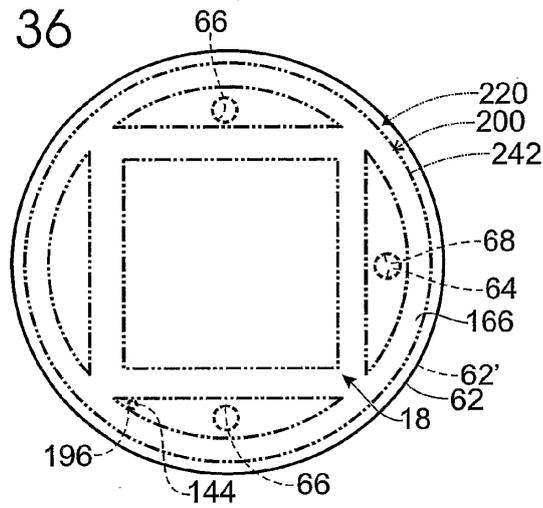


Fig. 37

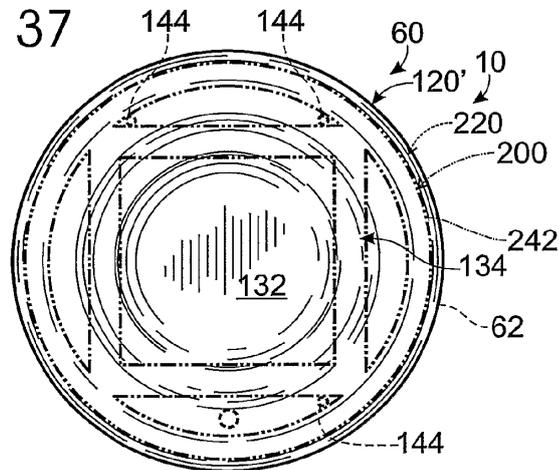
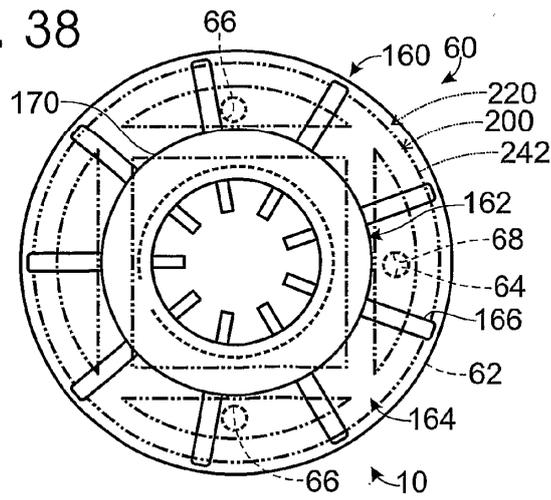


Fig. 38



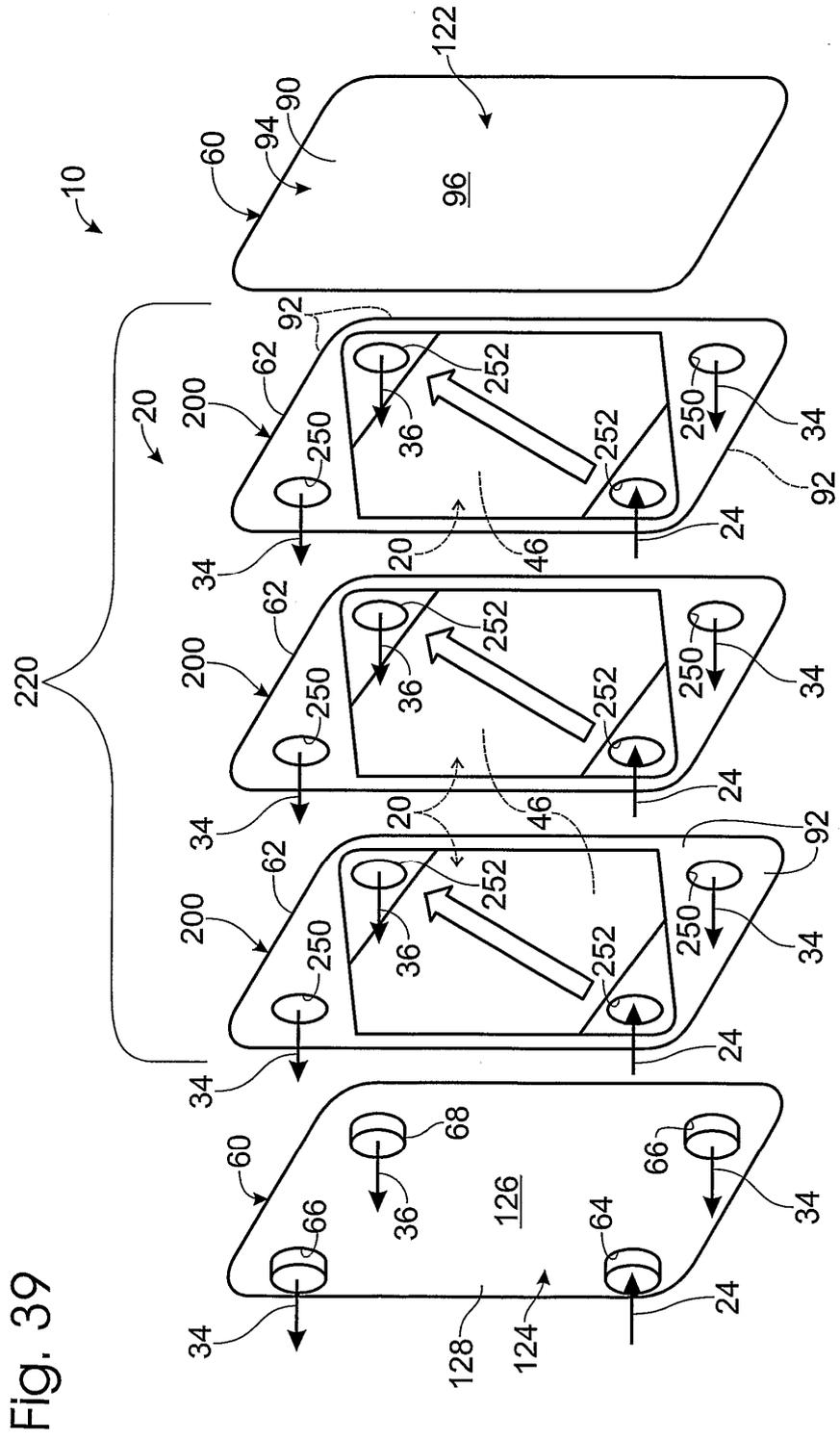


Fig. 40

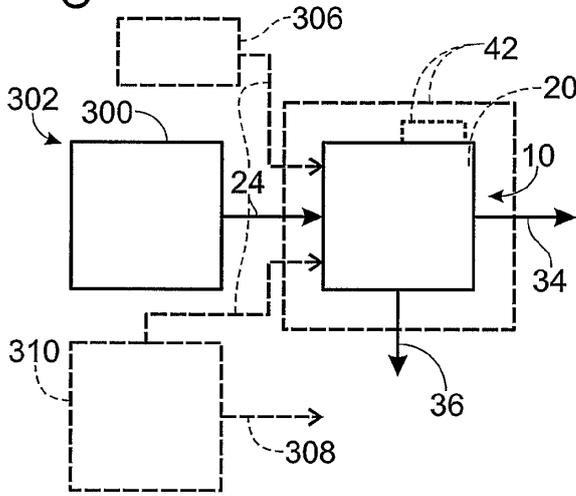


Fig. 41

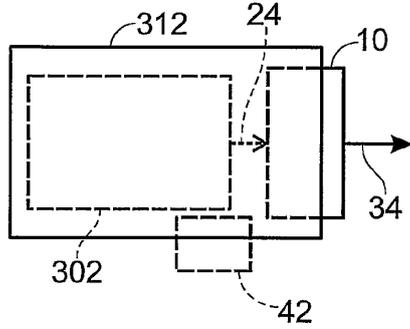


Fig. 42

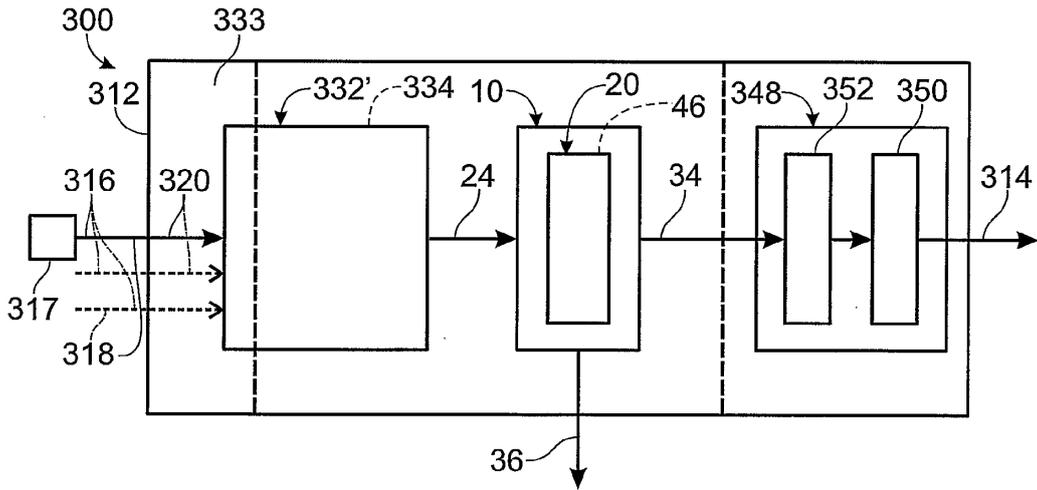


Fig. 43

