

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **3 021 865**

51 Int. Cl.:

**F17C 11/00** (2006.01)

**C01C 1/00** (2006.01)

12

## TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **18.08.2022** **PCT/EP2022/073088**

87 Fecha y número de publicación internacional: **02.03.2023** **WO23025657**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **18.08.2022** **E 22765561 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **09.04.2025** **EP 4392704**

54 Título: **Sistema de almacenamiento y compresión de hidrógeno**

30 Prioridad:

**23.08.2021 EP 21192688**

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

**27.05.2025**

73 Titular/es:

**GRZ TECHNOLOGIES SA (100.00%)**

**Route de la Plaine 47**

**1580 Avenches, CH**

72 Inventor/es:

**SCHMIED, ANDJELKO;**

**RUBIN, MORITZ;**

**SUN, TAI;**

**BARDIS, KONSTANTINOS;**

**HOLDENER, FRIDOLIN y**

**GALLANDAT, NORIS**

74 Agente/Representante:

**PONS ARIÑO, Ángel**

ES 3 021 865 T3

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

## DESCRIPCIÓN

Sistema de almacenamiento y compresión de hidrógeno

## 5 Campo de la invención

La presente invención se refiere a un aparato para almacenar y comprimir hidrógeno utilizando hidruros metálicos.

## 10 Antecedentes de la invención

El almacenamiento de hidrógeno es una etapa clave en la descarbonización de las tecnologías de combustibles fósiles mediante energías renovables. Se ha estudiado una variedad de procedimientos de almacenamiento que incluyen gas presurizado, licuefacción de hidrógeno y absorción en materiales sólidos.

Los hidruros metálicos son de gran interés para el almacenamiento y la compresión de hidrógeno, ya que muchos metales y aleaciones son capaces de absorber de forma reversible cantidades significativas de hidrógeno y comprimirlo mediante la adición de calor.

El hidrógeno molecular se disocia en la superficie del hidruro metálico antes de la absorción. A continuación, dos átomos de H se recombinan para formar H<sub>2</sub> tras la desorción. La reacción de absorción de hidrógeno en el material es típicamente exotérmica (produce calor) mientras que la reacción de desorción de hidrógeno es, por el contrario, endotérmica (absorbe calor).

Un sistema de almacenamiento y compresión de hidruro metálico se puede usar como una unidad de almacenamiento y compresión que desorbe y suministra hidrógeno isobáricamente y sin pulsaciones a un nivel de presión elevado requerido añadiendo el calor necesario para la desorción.

Con el fin de adaptarse a los requisitos de almacenamiento y compresión en muchas aplicaciones, los sistemas de almacenamiento y compresión de hidrógeno típicamente comprenden una pluralidad de recipientes interconectados con acoplamientos ensamblados, típicamente separados por mecanismos de válvula. En vista de la reacción exotérmica durante la absorción de hidrógeno y la reacción endotérmica durante la desorción de hidrógeno, por la que la temperatura en el recipiente afecta a las tasas de absorción y desorción y a la presión, la función óptima de suministro y almacenamiento requiere procesos controlados con precisión y una cierta complejidad en el sistema de almacenamiento que puede reducir su fiabilidad. Los tanques de almacenamiento de hidrógeno de hidruros metálicos convencionales tampoco suelen ser ideales para los requisitos de transferencia de calor durante la fase de calentamiento, absorción o desorción. El documento US 2019/093 825A1 describe un aparato de almacenamiento y liberación de hidrógeno que utiliza medios de transferencia de fluido de intercambio de calor.

## 40 Resumen de la invención

Un objetivo de la presente invención es proporcionar un sistema de almacenamiento y compresión de hidrógeno que sea eficiente, compacto, seguro y fácil de usar y mantener.

Resulta ventajoso proporcionar un sistema de almacenamiento y compresión de hidrógeno que sea rentable de producir y operar.

Los objetivos de la invención se han logrado proporcionando un sistema de almacenamiento y compresión de hidrógeno según la reivindicación 1.

En esta invención se describe un sistema de almacenamiento y compresión de hidrógeno comprendiendo una carcasa, una pluralidad de recipientes de almacenamiento y compresión que forman al menos una unidad de recipientes múltiples y un hidruro metálico (MH) configurado para el almacenamiento y compresión de hidrógeno contenido dentro de cada uno de los recipientes de almacenamiento y compresión, estando la pluralidad de recipientes de almacenamiento y compresión de dicha al menos una unidad de recipientes múltiples interconectados por tubos de flujo de gas en una conexión fluidica directa que garantiza que la presión de gas dentro de los recipientes sea sustancialmente la misma.

La pluralidad de recipientes de almacenamiento y compresión están montados en el interior de una cámara de la carcasa, estando la carcasa configurada para mantener un vacío en dicha cámara para analizar la fuga de dichos recipientes de almacenamiento y compresión, comprendiendo el sistema de almacenamiento y compresión de hidrógeno además un sistema de vacío comprendiendo una bomba de vacío conectada a la carcasa.

La bomba de vacío puede estar configurada para generar un vacío en el interior de la cámara de la carcasa durante el funcionamiento del sistema de almacenamiento y compresión de hidrógeno, por ejemplo, durante al menos una fase de calentamiento de los recipientes de almacenamiento y compresión de hidrógeno.

En una realización, el sistema de almacenamiento y compresión de hidrógeno comprende además un sistema de calentamiento configurado para calentar cada uno de los recipientes de almacenamiento y compresión montados en el interior de la carcasa.

- 5 En una realización ventajosa, el sistema de calentamiento comprende elementos de calentamiento eléctricos montados en los recipientes de almacenamiento y compresión de hidrógeno.

En una realización ventajosa, el sistema de calentamiento comprende un elemento de calentamiento eléctrico montado sobre o dentro de los recipientes de almacenamiento y compresión de hidrógeno.

- 10 En una realización ventajosa, los elementos de calentamiento eléctrico están montados en un extremo de los recipientes de almacenamiento y compresión de hidrógeno y una camisa o capa conductora se extiende a lo largo y sobre los recipientes de almacenamiento y compresión de los elementos de calentamiento hacia el otro extremo de los recipientes de almacenamiento y compresión.

- 15 En una realización, el sistema de calentamiento comprende una entrada de fluido de calentamiento a la carcasa configurada para la inyección de un fluido calentado en la cámara de la carcasa.

- 20 En una realización ventajosa, el fluido de calentamiento es vapor.

En otras realizaciones, se pueden usar otros medios térmicos tales como aceite térmico o agua como el fluido de calentamiento.

- 25 En una realización ventajosa, el sistema de almacenamiento y compresión de hidrógeno comprende además un sistema de enfriamiento configurado para enfriar cada uno de los recipientes de almacenamiento y compresión montados en el interior de la carcasa.

En una realización ventajosa, el sistema de enfriamiento comprende una entrada de fluido de enfriamiento a la carcasa configurada para la inyección de un fluido de enfriamiento en la cámara de la carcasa.

- 30 En una realización, el fluido de enfriamiento es aire.

En una realización, el fluido de enfriamiento es agua.

- 35 En una realización ventajosa, el recipiente tubular de cada recipiente de almacenamiento y compresión tiene un diámetro exterior  $D$  en un intervalo de 1,2 cm a 10 cm. Los adyacentes de dicha pluralidad de recipientes de almacenamiento y compresión de dicho módulo están separados por un espacio  $G$  dentro de un intervalo de distancia correspondiente a  $0,02xD$  a  $1xD$ , preferiblemente en un intervalo de  $0,05xD$  a  $0,5xD$ .

- 40 En una realización ventajosa, el diámetro exterior  $D$  del recipiente tubular de cada recipiente de almacenamiento y compresión está en un intervalo de 2 cm a 8 cm, preferiblemente en un intervalo de 3 cm a 6 cm, por poner un ejemplo, en un intervalo de 4 cm a 5 cm.

- 45 En una realización ventajosa, el espacio  $G$  entre los recipientes de almacenamiento y compresión está en un intervalo de  $0,1xD$  a  $0,4xD$ .

Los recipientes de almacenamiento y compresión pueden tener una longitud  $L$  en un intervalo de 30 cm a 600 cm. En una realización ventajosa, para la viabilidad de fabricación, instalación y mantenimiento, los recipientes de almacenamiento y compresión tienen una longitud en un intervalo de 60 cm a 200 cm, preferiblemente en un intervalo de 80 cm a 150 cm.

- 50 En una realización ventajosa, los tubos de flujo de gas comprenden un tubo de conexión en forma de T con una sección de tubo con tapa que se extiende sustancialmente en una dirección axial correspondiente a un eje de la pared del recipiente tubular y una sección de tubo transversal que se extiende sustancialmente ortogonal a la dirección axial y está soldada a un primer extremo de la sección de tubo con tapa, estando soldado un segundo extremo de la sección de tubo con tapa de extremo a una tapa de entrada del recipiente de almacenamiento y compresión.

En una realización ventajosa, los extremos de la sección de tubo transversal están soldados a los extremos de las secciones de tubo transversal de recipientes de almacenamiento y compresión adyacentes u opuestos.

- 60 En una realización ventajosa, un extremo del recipiente de almacenamiento y compresión en fila comprende un tubo de conexión en forma de L o en forma de codo que se extiende de la tapa de entrada a un extremo de una sección de tubo transversal del recipiente de almacenamiento y compresión adyacente.

- 65 En una realización, la pluralidad de recipientes de almacenamiento y compresión de una unidad de recipientes múltiples están dispuestos en una fila, siendo los ejes  $A$  de los recipientes paralelos entre sí.

En otra realización, la pluralidad de recipientes de almacenamiento y compresión de una unidad de recipientes múltiples están dispuestos en dos filas coplanarias en una disposición opuesta de manera que los tubos de flujo de gas están colocados entre las dos filas, siendo los ejes A de los recipientes paralelos entre sí.

5 En una realización ventajosa, cada unidad de recipientes múltiples comprende un filtro colocado en una cara interior de la tapa de entrada que cubre una entrada/salida para evitar que las partículas de hidruro metálico escapen de la cámara por la entrada/salida.

10 En una realización ventajosa, el filtro comprende o consiste en un disco de metal sinterizado soldado en su periferia a la tapa de entrada.

En una realización ventajosa, la pared del recipiente tubular, las tapas de entrada y de extremo y los tubos de flujo de gas están hechos de un metal resistente al hidrógeno, a la presión y a la temperatura, así como fácilmente soldable. Dichos metales pueden ser aceros inoxidables, aceros al carbono modificados, aleaciones de aluminio o aleaciones de Cu-Ni.

15 En una realización ventajosa, una pluralidad de unidades de recipientes múltiples se dispone como una pila de unidades de recipientes múltiples que forman un módulo de almacenamiento y compresión configurado para contener gas hidrógeno a una presión común.

En una realización ventajosa, las unidades de recipientes múltiples del módulo están interconectadas de forma fluida entre sí y conectadas a una válvula para una conexión adicional a un sistema de consumo y generación de hidrógeno.

25 En una realización ventajosa, una pluralidad de dichas unidades de recipientes múltiples se ensambla de manera apilada en una estructura de soporte para la conexión a un sistema o red común de generación y consumo de hidrógeno.

En una realización, un sistema de almacenamiento y compresión de hidrógeno según la invención puede usarse como un sistema de suministro de hidrógeno casi isobárico y libre de pulsaciones que puede absorber y desorber hidrógeno a presión elevada, preferiblemente superior a 5 MPa (50 bar), más preferiblemente superior a 20 MPa (200 bar) y desorberlo a una presión sustancialmente constante y con un cambio mínimo en la temperatura, preferiblemente con un cambio de temperatura inferior a 40 °C, más preferiblemente con un cambio de temperatura que varía de 20 °C a 30 °C.

35 En una realización, un sistema de almacenamiento y compresión de hidrógeno según la invención puede usarse para comprimir corrientes de fuga de gas hidrógeno de un sistema de sellado laberíntico a una presión de succión de un aparato tal como, por poner un ejemplo, un compresor de gas mecánico o una bomba criogénica.

40 En una aplicación, el sistema de almacenamiento y compresión de hidrógeno puede usarse ventajosamente como un sistema de suministro de hidrógeno casi isobárico para absorber y desorber hidrógeno a presión elevada, preferiblemente superior a 5 MPa (50 bar), más preferiblemente superior a 20 MPa (200 bar) y desorberlo a presión sustancialmente constante con un cambio mínimo en la temperatura, preferiblemente con un cambio de temperatura inferior a 40 °C, más preferiblemente con un cambio de temperatura que varía de 20 °C a 30 °C.

45 En una aplicación, el sistema de almacenamiento y compresión de hidrógeno se puede usar ventajosamente para comprimir las corrientes de fuga de gas hidrógeno de un sistema de sellado laberíntico a una presión de succión de un aparato tal como, por poner un ejemplo, un compresor de gas mecánico o una bomba criogénica.

50 En una aplicación, el sistema de almacenamiento y compresión de hidrógeno puede usarse ventajosamente para alimentar hidrógeno a una red de gas de una manera sin vibración ni pulsación.

Otros objetivos y aspectos ventajosos de la invención resultarán evidentes a partir de las reivindicaciones y de la siguiente descripción detallada y las figuras adjuntas.

## 55 Breve descripción de los dibujos

La invención se describirá ahora con referencia a los dibujos adjuntos que, a modo de ejemplo, ilustran realizaciones de la presente invención y en los que:

60 La Fig. 1 es una vista esquemática en sección transversal de un sistema de almacenamiento y compresión de hidrógeno según una realización de la invención en la que el calentamiento y el enfriamiento se producen a través del suministro de un medio térmico;

65 La Fig. 2 es una vista esquemática en sección transversal de un sistema de almacenamiento y compresión de hidrógeno según otra realización de la invención en la que la potencia de calentamiento requerida se suministra a través de un calentamiento por resistencia eléctrica;

La Fig. 3 es una vista esquemática en sección transversal de un sistema de almacenamiento y compresión de hidrógeno según otra realización de la invención en la que la potencia de calentamiento requerida se suministra a través de un calentamiento por resistencia eléctrica con un sistema adicional de disipador de calor para garantizar una distribución de temperatura homogénea;

La Fig. 4 es una vista esquemática en sección transversal de una unidad de almacenamiento de recipientes múltiples del módulo de la Fig. 1-Fig 3;

La Fig. 5 es una vista esquemática en sección transversal de un único recipiente de almacenamiento y compresión de la unidad de la Fig. 4;

Las Figs. 6a y 6b ilustran esquemáticamente las disposiciones en sección transversal de recipientes en una carcasa de un sistema de almacenamiento de hidrógeno según realizaciones de la invención;

La Fig. 7 es un gráfico de presión (en  $P$ ) frente a temperatura inversa ( $1000/T$ ) de una combinación de varias etapas de compresión con diferentes materiales de hidruros metálicos para lograr una alta relación de compresión con una diferencia de temperatura moderada según una realización de la invención.

La Fig. 8 es una vista esquemática de un sistema de almacenamiento y compresión de hidrógeno según una realización de la invención acoplado a un aparato tal como, por poner un ejemplo, un compresor de gas mecánico de una bomba criogénica, en el que un flujo de fuga de hidrógeno de un sellado laberíntico del aparato se comprime de nuevo a la presión de succión del aparato.

### Descripción detallada de las realizaciones de la invención

Con referencia a las figuras, un sistema 1 de almacenamiento y compresión de hidrógeno según las realizaciones de esta invención comprende una carcasa 2 resistente a la presión y uno o una pluralidad de módulos 10 de almacenamiento y compresión montados en el interior de una cámara 16 formada por la carcasa, los módulos de almacenamiento y compresión para la conexión fluidica a una o más fuentes de hidrógeno (no mostrado) y uno o más consumidores de hidrógeno (no mostrado). Se puede proporcionar una estructura de soporte (no mostrado) para soportar el(los) módulo(s) de almacenamiento y compresión en el interior de la carcasa. El módulo 10 de almacenamiento y compresión comprende una pluralidad de recipientes 6 de almacenamiento y compresión, conteniendo cada recipiente 6 un hidruro metálico MH configurado para almacenar hidrógeno, como se describirá con más detalle más adelante.

La fuente de hidrógeno puede ser, por poner un ejemplo, un electrolizador que use energías renovables para producir hidrógeno a partir de agua u otras moléculas que contengan hidrógeno. El consumidor de hidrógeno puede tener, por poner un ejemplo, la forma de una celda de combustible para producir electricidad a partir de gas hidrógeno o un tanque de almacenamiento de hidrógeno presurizado para aplicaciones móviles u otros dispositivos para almacenar o consumir adicionalmente hidrógeno.

Un ejemplo del uso de un sistema de almacenamiento y compresión de hidrógeno según realizaciones de esta invención es almacenar y comprimir hidrógeno producido por un sistema de generación de hidrógeno que convierte energía solar producida por paneles fotovoltaicos en gas hidrógeno. El gas hidrógeno puede servir como combustible que almacena la energía capturada, que puede convertirse en energía eléctrica, mecánica o térmica utilizando diferentes sistemas de conversión de energía, incluidos celdas de combustible, motores de combustión interna o turbinas de gas, entre otros. Además, se pueden considerar otras alternativas, comprendiendo la producción de diferentes gases, por poner un ejemplo, metano o amoniaco, para facilitar la manipulación y el almacenamiento. Por tanto, el sistema de almacenamiento de hidrógeno puede actuar como un amortiguador y un compresor, ambos en un solo dispositivo.

Otro ejemplo de una aplicación típica para un sistema de almacenamiento y compresión de hidrógeno según una realización de la invención es:

- El almacenamiento y la compresión de hidrógeno para el repostaje de vehículos de hidrógeno
- La misma aplicación que la anterior, donde la electricidad se origina en otra fuente (eólica, hidroeléctrica, etc.)
- El almacenamiento y la compresión de hidrógeno producido como residuo a partir de un proceso químico y posteriormente utilizado para la generación de electricidad
- Cualquiera de las aplicaciones anteriores donde el hidrógeno se utiliza para otro propósito, por ejemplo, como precursor para una reacción química o un combustible para la producción de energía térmica
- La compresión y la reinyección de flujos de fuga de hidrógeno en aparatos con sellados laberínticos.

Según un aspecto de la invención, el sistema 1 de almacenamiento de hidrógeno comprende un sistema 18 de vacío conectado a la carcasa 2. El sistema de vacío comprende una bomba 19 de vacío conectada a través de una línea 3a de conexión de bomba de vacío a la cámara 16 de carcasa, configurada para crear un vacío dentro de la cámara 16 de carcasa.

El vacío dentro de la cámara de la carcasa puede servir para uno o más propósitos.

En una realización, la creación de un vacío puede usarse para probar si hay alguna fuga de gas del o de los módulos 10 de almacenamiento y compresión que contienen hidrógeno. Dicha fuga puede detectarse y cuantificarse detectando

el gas de fuga directamente en la corriente de salida del sistema 18 de vacío.

En algunas realizaciones, esta prueba de vacío se puede realizar de forma continua o intermitente y, en ciertas realizaciones, estas pruebas se pueden realizar antes del uso inicial del sistema de almacenamiento de hidrógeno y/o a ciertos intervalos, por poner un ejemplo, a intervalos de mantenimiento planificados o posteriores a un fallo o reparación, para analizar la integridad del sistema de almacenamiento de hidrógeno.

La carcasa 2 está configurada para resistir una presión de vacío en la cámara 16, típicamente de menos de 1,0 E-5 MPa (0,1 mbar), en otras palabras, para resistir una presión externa en la carcasa de al menos alrededor de 0,1 MPa (1 bar).

En ciertas realizaciones, el sistema 19 de vacío puede servir además para reducir la transferencia de calor por convección de la superficie de los recipientes 6 de almacenamiento y compresión de hidrógeno a la carcasa 2. Por tanto, la energía térmica producida a partir del elemento 21 de calentamiento se utiliza para el calentamiento del contenido del recipiente de hidrógeno en lugar de su entorno.

En dicho sistema, el sistema 1 de almacenamiento y compresión de hidrógeno puede comprender un sistema 20 de calentamiento que incluye elementos 21 de calentamiento eléctrico acoplados a cada recipiente 6 de almacenamiento y compresión para calentar directamente los recipientes 6 de almacenamiento y compresión.

En una realización, por poner un ejemplo, como se ilustra en la figura 2, el elemento 21 de calentamiento eléctrico puede montarse dentro de los recipientes 6 de almacenamiento y compresión.

En una realización, por poner un ejemplo, como se ilustra en la figura 3, el elemento 21 de calentamiento eléctrico puede montarse fuera de los recipientes 6 de almacenamiento y compresión y puede proporcionarse un elemento 22 térmicamente conductor en la pared del recipiente para dispersar el calor generado y reducir los gradientes de temperatura dentro del recipiente 6 de almacenamiento y compresión. El elemento 22 térmicamente conductor puede comprender un material altamente conductor térmico tal como cobre o aluminio.

Por tanto, cuando el calentamiento eléctrico se aplica durante la fase de calentamiento o durante el proceso endotérmico de desorción de hidrógeno, el vacío evita la transferencia de calor por convección a la carcasa. En la figura d se ilustra una realización con calentamiento eléctrico directo de los recipientes 6 de almacenamiento y compresión durante la desorción de hidrógeno. En esta realización, el enfriamiento durante la fase de absorción de hidrógeno puede realizarse mediante un sistema 24 de enfriamiento que utiliza un fluido de enfriamiento, en particular aire que se inyecta en la cámara 16 de la carcasa a través de una conexión 3c de fluido de enfriamiento. El fluido de enfriamiento puede circular por el interior de la cámara de la carcasa mediante un ventilador o una bomba de gas con el fin de crear una circulación de fluido para la convección forzada.

En otra realización de la invención ilustrada en la figura 3, el elemento 21 de calentamiento eléctrico puede complementarse con un elemento 22 térmicamente conductor con el fin de garantizar una distribución de temperatura homogénea.

En otra realización ilustrada en la figura 1, el sistema 20 de calentamiento comprende una conexión 3b de entrada de fluido de calentamiento para permitir que un fluido calentado, tal como vapor, se inyecte en la cámara 16 de la carcasa durante las fases endotérmicas. El vapor puede ser evacuado a través de una conexión 3d de drenaje controlada por una válvula V. En la realización ilustrada, el sistema 24 de enfriamiento puede ser proporcionado por un fluido de enfriamiento tal como agua inyectada a través de una conexión 3c de fluido de enfriamiento en la cámara 16 de la carcasa y evacuada a través de una conexión 3d de drenaje. Sin embargo, puede observarse que la conexión para el fluido de calentamiento también puede usarse para el fluido de enfriamiento, en otras palabras, puede proporcionarse una única entrada que se conmuta, por poner un ejemplo, mediante un sistema de válvula entre la fuente de fluido de calentamiento y la fuente de fluido de enfriamiento. También puede haber una sola salida para la bomba de vacío y el drenaje, también conectada por un sistema de válvula a la bomba de vacío y al circuito de drenaje, respectivamente, a través de un sistema de válvula.

El módulo o módulos 10 de compresión de almacenamiento pueden conectarse a un sistema 23 de liberación de sobrepresión, por poner un ejemplo, comprendiendo una válvula de alivio de presión o un disco de ruptura u otro componente que esté configurado para liberar presión dentro de los recipientes 6 de almacenamiento y compresión en un umbral de seguridad predefinido.

Una pluralidad de recipientes 6 de almacenamiento y compresión interconectados por tubos 5 de flujo de gas pueden formar una unidad 4 de recipientes múltiples, por lo que cada módulo 10 de almacenamiento y compresión puede comprender una o más unidades 4 de recipientes múltiples. La pluralidad de recipientes 6 de almacenamiento y compresión de cada unidad 4 de recipientes múltiples están interconectados fluidicamente en conexión fluida directa sin ninguna válvula o medio de separación de presión entre los recipientes de manera que están esencialmente a la misma presión de gas y, por tanto, funcionan en paralelo para absorber y desorber hidrógeno. Cada recipiente 6 de almacenamiento y compresión tiene una cámara 13 en su interior que contiene un hidruro metálico MH configurado

para almacenar hidrógeno como es bien conocido en la técnica. Se pueden llenar los recipientes con diversos hidruros metálicos, por poner un ejemplo, como se describe en el documento PCT/EP2020/059860.

La separación de un volumen de gas hidrógeno en una pluralidad de recipientes en lugar de usar un solo recipiente permite tener recipientes pequeños con una alta relación de superficie a volumen que pueden separarse por un espacio G que permite una mejor transferencia de calor durante las reacciones exotérmicas y endotérmicas. Por otra parte, los volúmenes de almacenamiento de cada unidad 4 de recipientes múltiples se pueden ampliar fácilmente mediante la adición de más recipientes 6 de almacenamiento y compresión sin cambiar fundamentalmente las propiedades de transferencia de calor y el comportamiento de la unidad 4 de recipientes múltiples. La pluralidad de recipientes 6 de almacenamiento y compresión de una unidad 4 de recipientes múltiples pueden disponerse esencialmente paralelos entre sí, alineados preferiblemente en una fila plana como se ilustra en la figura 4.

Una pluralidad de unidades de recipientes múltiples 4 que forman un módulo 10 de almacenamiento y compresión pueden apilarse una sobre la otra y/o situarse una al lado de la otra. Las unidades 4 de recipientes múltiples que forman uno o más módulos 10 de almacenamiento y compresión pueden disponerse ventajosamente en una disposición sustancialmente cuadrada (vista en sección transversal) como se ilustra en la figura 6a, de modo que encajen bien dentro de una carcasa 2 sustancialmente cilíndrica. Dentro del alcance de la invención, las unidades de recipientes múltiples de los módulos de almacenamiento y compresión también pueden disponerse de varias otras maneras geométricas para llenar la cámara 16 de carcasa con un espacio volumétrico más pequeño que mediante una disposición cuadrada, como se muestra esquemáticamente en la figura 6b. De manera más general, aunque las unidades 4 de recipientes múltiples de los recipientes 6 de almacenamiento y compresión que se disponen en filas como se ilustra son ventajosas, dentro del alcance de la invención, los recipientes de almacenamiento y compresión de hidrógeno pueden estar dispuestos e interconectados de varias otras maneras geométricas.

Cada recipiente 6 de almacenamiento y compresión comprende una pared 6a de recipiente tubular cerrada en un extremo por una tapa 6b de extremo y en el otro extremo por una tapa 6c de entrada comprendiendo una entrada/salida 7.

En las realizaciones ilustradas en la figura 5, la entrada/salida 7 comprende un orificio colocado sustancialmente en el centro en la tapa de entrada que está soldada a un tubo 8 de conexión en forma de T de los tubos 5 de flujo de gas. Un recipiente 6 de almacenamiento y compresión en un extremo de la fila de recipientes de la unidad 4 de recipientes múltiples comprende un tubo 8c de conexión en forma de codo o en forma de L, sin embargo, los recipientes 6 de almacenamiento y compresión restantes son cada uno sustancialmente idénticos y comprenden tubos 8 de conexión en forma de T sustancialmente idénticos.

Cada tubo 8 de conexión en forma de T comprende una sección 8a de tubo de tapa que se extiende sustancialmente axialmente de la tapa 6c de entrada en la dirección del eje A de la pared 6a del recipiente tubular y una sección 8b de tubo transversal soldada a un extremo de la sección 8a de tubo de tapa.

El espacio G entre los recipientes de almacenamiento y compresión adyacentes sirve para permitir una buena transferencia de calor durante las reacciones endotérmicas o exotérmicas por convección forzada de un fluido a través de la pila de unidades 4 de recipientes múltiples.

La longitud del recipiente de almacenamiento y compresión, en particular la pared 6a tubular del recipiente, también se puede configurar fácilmente según sea necesario para aumentar o disminuir el volumen de cada unidad 4 de recipientes múltiples, aquí también sin modificar sustancialmente las propiedades de transferencia de calor. Por tanto, el comportamiento térmico de la unidad de recipientes múltiples puede ser sustancialmente independiente del volumen de almacenamiento del sistema.

Se puede obtener un proceso de transferencia de calor óptimo para el almacenamiento y la compresión de hidrógeno con hidruros metálicos, teniendo en cuenta el peso, la viabilidad de fabricación y la economía, con recipientes 6 de almacenamiento y compresión, teniendo cada uno un diámetro D en un intervalo de 1,2 cm a 10 cm, preferiblemente en un intervalo de 2 cm a 6 cm, por poner un ejemplo, alrededor de 4,5 cm.

Una longitud L práctica de cada recipiente de almacenamiento y compresión puede estar en un intervalo de 50 cm a 600 cm, pero preferiblemente está en un intervalo de 80 cm a 200 cm, por poner un ejemplo, en un intervalo de 60 cm a 150 cm para la viabilidad de fabricación, instalación y mantenimiento.

El material de la pared del recipiente está hecho preferiblemente de acero inoxidable u otro acero resistente al hidrógeno, como aceros al carbono modificados, aleaciones de aluminio o aleaciones de Cu-Ni, las tapas 6b, 6c de extremo están soldadas a los extremos opuestos de la pared 6a del recipiente tubular, por poner un ejemplo, por medio de un proceso de soldadura orbital (soldadura TiG). Durante el proceso de fabricación, la tapa 6b de extremo se suelda primero a un extremo de la pared 6a de recipiente tubular y las partículas de hidruro metálico se llenan a continuación a través del otro extremo hasta aproximadamente un 70 % a 100 % por ciento del volumen interno del recipiente 6 y la tapa 6c de entrada puede soldarse a continuación al otro extremo de la pared 6a de recipiente tubular.

La pared del recipiente, las tapas de extremo y los tubos de flujo de gas están hechos preferiblemente de acero inoxidable, pero también pueden estar hechos de otros metales soldables, como aceros al carbono modificados, aleaciones de aluminio o aleaciones de Cu-Ni. Dentro del alcance de la invención, los materiales compuestos también se pueden usar para las paredes del recipiente, las tapas de extremo y los tubos de flujo de gas.

La tapa 6c de entrada, antes de soldarse a la pared 6a del recipiente tubular, se suelda al tubo 8 de conexión en forma de T. La tapa de entrada puede comprender además un filtro 9 que está montado en el interior de la tapa de entrada que cubre la entrada/salida 7 y configurado para impedir que las partículas de hidruro metálico pasen a los tubos 5 de flujo de gas al tiempo que permite que el hidrógeno pase a través de los mismos.

En una realización ventajosa, el filtro 9 está hecho de un disco de acero inoxidable sinterizado que puede estar soldado en su periferia 9a exterior a una cara interior de la tapa 6c de entrada. En vista de los materiales similares, la soldadura se realiza con facilidad. Por otra parte, la conexión de soldadura es robusta y no está sujeta a altas fuerzas de dilatación térmica en vista del coeficiente similar de expansión térmica ya que se usan materiales similares o idénticos para la tapa 6c de entrada y el filtro 9.

Cada recipiente 6 de almacenamiento y compresión con su tapa de entrada soldada al tubo de conexión en forma de T forma así un componente integral durante el proceso de fabricación, conectándose dichos componentes integrales entre sí soldando los extremos 15 de las secciones 8b de tubo transversal de recipientes de almacenamiento y compresión adyacentes entre sí para formar una conexión 11 de soldadura. Los tubos 5 de flujo de gas también pueden estar hechos de acero inoxidable u otro acero resistente al hidrógeno de composiciones y grados iguales o similares a los del acero inoxidable u otro acero resistente al hidrógeno utilizado para las tapas 6c, 6b de entrada y de extremo y la pared 6a del recipiente tubular. Dado que los tubos de flujo de gas están soldados entre sí en los extremos 15 de las secciones 8b de tubo transversal, se pueden añadir fácilmente recipientes 6 de almacenamiento y compresión adicionales, dependiendo del volumen de almacenamiento total deseado, durante el proceso de fabricación en una configuración rentable pero particularmente fiable y segura.

Las tapas 6b, 6c de entrada y de extremo pueden formarse sustancialmente mediante un proceso de formación de estampado, con un mecanizado del borde circular que forma la interfaz de soldadura con la pared 6b del recipiente tubular. Esto también permite garantizar una estructura particularmente robusta capaz de soportar una alta presión, pero que es económica de fabricar y flexible con respecto al volumen que puede requerirse para la aplicación deseada.

Las unidades 4 de recipientes múltiples, una vez que los recipientes 6 de almacenamiento y compresión se han soldado entre sí, tienen, por tanto, una sola entrada y salida para la pluralidad de recipientes de almacenamiento y compresión y que pueden conectarse a través de una o más válvulas V a otras unidades 4 de recipientes múltiples en una pila con un espacio entre ellas similar en dimensiones al espacio G entre los recipientes de una unidad, con el fin de permitir la convección natural o forzada alrededor de cada uno de los recipientes del sistema 2 para la transferencia de calor durante las reacciones endotérmicas o exotérmicas.

Es posible interconectar los recipientes 6 de almacenamiento y compresión de la unidad 4 de recipientes múltiples en una pluralidad de capas, por poner un ejemplo, dos, tres o cuatro capas, para formar una única unidad de almacenamiento interconectada fluidicamente que tenga una única entrada y una salida común a una válvula. Una pluralidad de estas unidades se puede apilar o colocar a continuación una al lado de la otra o apilar y situar una al lado de la otra para formar módulos de un sistema de almacenamiento de hidrógeno donde cada una de las unidades se puede llenar y vaciar de forma independiente en cualquier secuencia deseada, por poner un ejemplo, como se describe en PCT/EP2020/059860. También es posible en diferentes unidades o módulos tener diferentes hidruros metálicos para operaciones de baja presión y alta presión como se describe en la solicitud de patente mencionada anteriormente.

#### **Descripción del proceso - Control de calidad**

La carcasa 2 permite la realización de una prueba de fugas al vacío sin la necesidad de una instalación de pruebas separada. La prueba de fugas se puede realizar antes del primer uso del sistema 1 de almacenamiento y compresión de hidrógeno o durante el uso del sistema de almacenamiento y compresión de hidrógeno. Antes del primer uso, el helio puede llenarse en el interior de los recipientes 6 de almacenamiento y compresión de hidrógeno hasta al menos una presión de funcionamiento máxima para la que está diseñado el recipiente de almacenamiento y compresión de hidrógeno (es decir, la "presión de diseño"). En algunos casos, se requiere una presión aún mayor para cumplir con los códigos y regulaciones locales (por ejemplo, 10 %, 25 %, 50 % o incluso 100 % por encima de la presión de diseño). La razón para usar helio y no hidrógeno es evitar la activación del material de hidruros metálicos antes de completar las pruebas de calidad. Esta es la primera etapa de la prueba integral de presión y fugas y confirma la integridad estructural del sistema a la presión de diseño.

Como siguiente etapa, la bomba 19 de vacío se activa para evacuar el aire en la cámara 16 de la carcasa. La presión suele reducirse a menos de 1,0E-5 MPa (0,1 mbar) (presión absoluta). Un detector de helio está situado en la corriente de salida de la cámara de la carcasa para medir la concentración de helio. El detector de helio puede basarse en un espectrómetro de masas. La tasa de fuga de los recipientes 6 de almacenamiento y compresión de hidrógeno a la

cámara 16 de la carcasa puede medirse directamente basándose en la concentración de helio. El caudal de fuga debe estar por debajo de un umbral de calidad específico, que generalmente se establece en 2e-10 MPa (2,0E-6 mbar)\*l/s.

Una ventaja adicional de esta característica, en realizaciones con calentamiento eléctrico directo, por poner un ejemplo, como se ilustra en la figura 1, se refiere a la posibilidad de supervisar continuamente la tasa de fuga durante las operaciones de compresión, ya que la cámara 16 de la carcasa se mantiene constantemente al vacío. En tal caso, el sistema 18 de vacío permite una supervisión continua de posibles fugas y elimina la necesidad de inspecciones manuales. El detector de fugas es capaz de controlar no sólo el helio, sino también el hidrógeno, que suele ser el caso de los espectrómetros de masas. Por lo tanto, aumenta la fiabilidad y la seguridad en comparación con las opciones alternativas de almacenamiento de hidrógeno en las que el recipiente de almacenamiento y compresión está directamente expuesto al entorno ambiental.

#### **Descripción del proceso de operación - realización con calentamiento eléctrico directo**

En una configuración ventajosa, a modo de ejemplo, se puede emplear un único módulo 10 de almacenamiento y compresión comprendiendo varias unidades 4 de recipientes múltiples conectadas en paralelo para aumentar el caudal o para garantizar una corriente continua de hidrógeno comprimido. El ciclo de compresión completo tiene lugar en una compresión de una o múltiples etapas de la presión de suministro inicial (típicamente 1-5 MPa (10-50 bar)) hasta la presión de suministro (típicamente 5-95 MPa (50-950 bar)). Los siguientes párrafos describen el ciclo de compresión completo que incluye las siguientes fases: (i) calentamiento (ii) desorción (iii) enfriamiento y (iv) absorción. Los valores ejemplares indicados a continuación son válidos para un ciclo de compresión típico de 3,5 MPa (35 bar) (entrada) a 35 MPa (350 bar) (salida) en una única etapa y configuración por lotes (compresión discontinua de hidrógeno).

#### **Fases de calentamiento y desorción**

Al comienzo de la fase de calentamiento, el hidrógeno está en el material de hidruro metálico que absorbe hidrógeno de los recipientes 6 de almacenamiento y compresión de hidrógeno a una temperatura de, por poner un ejemplo, alrededor de 30 °C y a una presión, por poner un ejemplo, de alrededor de 3,5 MPa (35 bar). El sistema 20, 21 de calentamiento eléctrico se activa para proporcionar la potencia térmica necesaria para el aumento de la temperatura del sistema y, en consecuencia, la presión del sistema.

En la realización ilustrada de la figura 3, el calor se conduce a los hidruros metálicos a través de un esparcidor térmico hecho de un material altamente conductor térmico (por ejemplo, cobre), lo que permite una rápida transferencia de calor y la minimización de la diferencia de temperatura a lo largo de las direcciones axial y radial. La conducción de calor en la dirección radial avanza significativamente más rápido hacia el centro de cada recipiente 6 de almacenamiento y compresión de hidrógeno que en el entorno circundante. Esto puede lograrse mediante la minimización de las pérdidas de calor al entorno mediante el empleo de un vacío en el interior de la cámara 16 de la carcasa 2 en la que están encerrados los recipientes 6 de almacenamiento y compresión de hidrógeno.

Los recipientes 6 de almacenamiento y compresión de hidrógeno se calientan, por poner un ejemplo, de  $p_1 = 3,5$  MPa (35 bar) y  $T_1 = 30$  °C a  $p_2 = 35$  MPa (350 bar) y  $T_2 =$  aprox. 150 °C, respectivamente. El proceso puede continuar con la desorción de hidrógeno a una presión sustancialmente constante (por poner un ejemplo,  $p_2 =$  *circa* (aprox.) 35 MPa (350 bar)) y una temperatura aproximadamente constante (por poner un ejemplo,  $T_2 =$  aprox. 150 °C). Dado que la reacción de desorción es endotérmica, el sistema requiere el suministro de calor hasta que los hidruros metálicos hayan liberado la mayor parte del hidrógeno.

#### **Fases de enfriamiento y absorción**

Al final del ciclo de desorción, los recipientes 6 de almacenamiento y compresión de hidrógeno se enfrían, por poner un ejemplo, de  $T_2 =$  aprox. 150 °C a  $T_1 =$  aprox. 30 °C. Durante esta fase de enfriamiento, la presión de hidrógeno cae de, por poner un ejemplo,  $P_2 = 35$  MPa (350 bar) a  $P_1 < 3,5$  MPa (35 bar). La cámara de vacío se llena con un fluido enfriamiento, por poner un ejemplo, aire, abriendo una válvula V en la línea 3c de conexión del fluido de enfriamiento. El enfriamiento de los recipientes de almacenamiento y compresión de hidrógeno se logra con el flujo del fluido de enfriamiento, por lo que el caudal de fluido y, en consecuencia, la capacidad de enfriamiento puede regularse mediante un ventilador o un compresor de gas. La disipación de calor eficiente en la superficie de los recipientes 6 de almacenamiento y compresión de hidrógeno se mejora aún más a través de la capa 22 altamente conductora térmica.

Al final de la fase de enfriamiento, el suministro de hidrógeno se abre para permitir el flujo de hidrógeno a una presión operativa baja de, por poner un ejemplo,  $p_1 = 3,5$  MPa (35 bar). Dado que la absorción es exotérmica, el calor debe rechazarse de modo que la temperatura y la presión se mantengan sustancialmente constantes. Esto se puede lograr con el flujo de fluido de enfriamiento (por ejemplo, aire) a través de la línea 3c de conexión de fluido de enfriamiento.

#### **Descripción del proceso de operación - realización comprendiendo calentamiento con un fluido de calentamiento (por ejemplo, vapor) y enfriamiento con un fluido de enfriamiento (por ejemplo, agua)**

En una configuración ventajosa, a modo de ejemplo, se puede emplear un único módulo 10 de almacenamiento y

compresión comprendiendo varias unidades 4 de recipientes múltiples conectadas en paralelo para aumentar el caudal o para garantizar una corriente continua de hidrógeno comprimido. El ciclo de compresión completo tiene lugar en una sola o múltiples etapas de la presión de suministro inicial (por poner un ejemplo, típicamente 1-5 MPa (10-50 bar)) hasta la presión de suministro (por poner un ejemplo, típicamente 5-95 MPa (50-950 bar)). Los siguientes párrafos describen el ciclo de compresión completo que incluye las siguientes fases: (i) Carga (ii) Calentamiento (iii) Desorción y (iv) Enfriamiento. Los siguientes valores son válidos para un ciclo de compresión típico de, por poner un ejemplo, alrededor de 3,5 MPa (35 bar) (entrada) a alrededor de 35 MPa (350 bar) (salida) en una única etapa y configuración por lotes (compresión discontinua de hidrógeno). Esta realización se puede ampliar a una operación de múltiples etapas y/o continua, lo que permite reducir la temperatura requerida y proporcionar hidrógeno continuo.

#### *Carga del módulo de almacenamiento y compresión de hidrógeno*

El hidrógeno se suministra de la línea de suministro a una presión de, por poner un ejemplo, aproximadamente 3,5 MPa (35 bar) y una temperatura de, por poner un ejemplo, aproximadamente 30 °C. Con el fin de mantener una presión y temperatura constantes, los recipientes 6 de almacenamiento y compresión de hidrógeno deben enfriarse continuamente durante esta fase, ya que la reacción de absorción es exotérmica. El enfriamiento de los recipientes 6 de almacenamiento y compresión de hidrógeno se logra mediante el contacto directo de las paredes del recipiente con un fluido de enfriamiento, por ejemplo, agua, proporcionando una transferencia de calor eficiente. La temperatura del módulo de almacenamiento y compresión de hidrógeno se puede controlar con el flujo de fluido de enfriamiento (por ejemplo, agua) que se regula preferiblemente con una bomba de velocidad variable o una válvula de control. Una vez completado el proceso de carga, el fluido de enfriamiento (por ejemplo, agua) se drena fuera de la cámara 16 de la carcasa a través de una conexión 3d de drenaje, por poner un ejemplo, dispuesta en la parte inferior de la carcasa 2.

#### *Calentamiento*

El proceso continúa con el calentamiento del módulo 10 de almacenamiento y compresión de hidrógeno de una temperatura de aproximadamente 30 °C a 150 °C con un aumento correspondiente de la presión de, por poner un ejemplo, aproximadamente 3,5 MPa (35 bar) a 35 MPa (350 bar). El calentamiento se logra con el flujo de un fluido de calentamiento, por poner un ejemplo, ventajosamente vapor presurizado, inyectado en la cámara 16 de la carcasa 2 y que fluye sobre los recipientes 6 de almacenamiento y compresión de hidrógeno; esto aprovecha la entalpía de condensación del agua y permite mantener una alta diferencia de temperatura entre el vapor y la pared de los recipientes de almacenamiento y compresión de hidrógeno durante el proceso de calentamiento. El control eficiente de la capacidad de calentamiento se puede lograr mediante la regulación de la presión del vapor.

#### *Desorción:*

A continuación, el módulo se calienta de modo que el hidrógeno se descargue a la presión requerida de, por poner un ejemplo, aproximadamente 35 MPa (350 bar). De manera similar a la fase descrita anteriormente, se puede utilizar ventajosamente vapor presurizado para este proceso.

#### *Enfriamiento:*

El proceso continúa con el enfriamiento de los recipientes 6 de almacenamiento y compresión de hidrógeno. Esto da lugar a una caída de la temperatura de, por poner un ejemplo, aproximadamente 150 °C a la temperatura de partida de, por poner un ejemplo, aproximadamente 30 °C.

#### *Ejemplo de uso del sistema de almacenamiento y compresión de hidrógeno en una aplicación específica (I)*

En muchas aplicaciones industriales, el gas hidrógeno está limitado dentro de un cierto volumen mediante el uso del llamado sellado laberíntico. En tal caso, siempre hay una fuga de hidrógeno del volumen confinado. El compresor de hidrógeno de hidruros metálicos se puede usar para comprimir este flujo de fuga y devolverlo al sistema con la mayor presión de succión. Una aplicación típica de este sistema es, por poner un ejemplo, en compresores 26 de pistón alternativo sellados en laberinto o potencialmente también en turbocompresores sellados en laberinto. Dicha aplicación típica se muestra esquemáticamente en la figura 8. El flujo de hidrógeno del sellado 25 laberíntico se absorbe en el sistema 1 de almacenamiento y compresión de hidrógeno de hidruros metálicos y, a continuación, se comprime a la presión de succión para reinyectarse isobáricamente y sin pulsaciones en la corriente de succión del compresor 26 de pistón. El sistema 1 de almacenamiento y compresor de hidrógeno de hidruros metálicos podría usarse potencialmente en cualquier compresor de hidrógeno que use sistemas de sellado laberíntico.

#### *Ejemplo de uso del sistema de almacenamiento y compresión de hidrógeno en una aplicación específica (II)*

Una aplicación adicional del sistema de almacenamiento y compresión de hidrógeno descrito puede ser la inyección de hidrógeno en la infraestructura de gas natural existente o en sistemas de almacenamiento de hidrógeno presurizado. Actualmente, se utilizan compresores de pistón o diafragma alternativos convencionales.

Sin embargo, estos dispositivos inducen vibraciones e impulsos que son perjudiciales para los gasoductos. El sistema de almacenamiento y compresor de hidrógeno de hidruros metálicos descrito podría usarse para comprimir hidrógeno y alimentar hidrógeno isobáricamente, sin pulsaciones y sin vibraciones a la red de distribución de gas natural existente.

5

Lista de referencias utilizadas:

**Sistema 1 de almacenamiento y compresión de hidrógeno**

**Carcasa 2**

- 10 Cámara 16 de la carcasa
- Entradas/salidas 3
  - Conexión 3a de la bomba de vacío
  - Conexión 3b de fluido de calentamiento
  - Medio de calentamiento
- 15 Conexión 3c de fluido de enfriamiento
- Medio de enfriamiento
- Conexión 3d de drenaje

**Sistema 18 de vacío**

Bomba 19 de vacío

20 **Sistema 20 de calentamiento**

- Elemento 21 de calentamiento eléctrico
- Elemento 22 térmicamente conductor
- Entrada de fluido de calentamiento

**Sistema 24 de enfriamiento**

- 25 Fluido de enfriamiento

**Módulo 10 de almacenamiento y compresión**

**Unidad 4 de recipientes múltiples**

**Recipiente 6 de almacenamiento y compresión**

- 30 Pared 6a tubular del recipiente
- Tapa 6b de extremo
- Tapa 6c de entrada
- Entrada/salida 7
- Filtro 9
- Periferia 9a
- 35 Cámara 13 de recipiente de almacenamiento y compresión
- Hidruro de metal MH

**Tubos 5 de flujo de gas**

- Tubo 8 de conexión en forma de T
- Sección 8a de tubo con tapa
- 40 Sección 8b de tubo transversal
- Extremos 15
- Conexión 11 de soldadura

**Sistema 23 de liberación de sobrepresión**

**Válvulas V**

45 **Estructura 12 de soporte**

**Sistema de control**

- Sensores de presión P
- Sensores de temperatura T

**Válvulas V**

- 50 Control automático de válvula
- Compresor 26 de pistón alternativo sellado laberíntico
- Sellado 25 laberíntico
- Diámetro  $D$  del recipiente de almacenamiento y compresión
- Distancia  $G$  de separación entre recipientes adyacentes
- 55 Longitud  $L$  de un recipiente

# REIVINDICACIONES

1. Sistema (1) de almacenamiento y compresión de hidrógeno comprendiendo una carcasa (2), una pluralidad de recipientes (6) de almacenamiento y compresión que forman al menos una unidad (4) de recipientes múltiples y un hidruro metálico (MH) configurado para el almacenamiento y la compresión de hidrógeno contenido dentro de cada uno de los recipientes de almacenamiento y compresión, estando la pluralidad de recipientes de almacenamiento y compresión de dicha al menos una unidad de recipientes múltiples interconectados por tubos de flujo de gas en una conexión fluidica directa que garantiza que la presión de gas dentro de los recipientes sea sustancialmente la misma, donde dicha pluralidad de recipientes de almacenamiento y compresión están montados dentro de una cámara (16) de la carcasa, la carcasa configurada para mantener un vacío en dicha cámara para probar las fugas de dicha al menos una unidad de recipientes múltiples, comprendiendo el sistema además un sistema (18) de vacío comprendiendo una bomba (19) de vacío conectada a la carcasa.
2. Sistema de almacenamiento y compresión de hidrógeno según cualquier reivindicación anterior, comprendiendo además un sistema (20) de calentamiento configurado para calentar cada uno de los recipientes de almacenamiento y compresión montados en el interior de la carcasa.
3. Sistema de almacenamiento y compresión de hidrógeno según la reivindicación anterior, donde el sistema de calentamiento comprende elementos (21) de calentamiento eléctrico montados sobre o dentro de los recipientes de almacenamiento y compresión de hidrógeno.
4. Sistema de almacenamiento y compresión de hidrógeno según la reivindicación anterior, donde los elementos (21) de calentamiento eléctrico están montados en un extremo de los recipientes de almacenamiento y compresión de hidrógeno y una camisa o capa (22) conductora se extiende a lo largo y sobre los recipientes de almacenamiento y compresión de los elementos de calentamiento hacia el otro extremo de los recipientes de almacenamiento y compresión.
5. Sistema de almacenamiento y compresión de hidrógeno según la reivindicación 2, donde el sistema de calentamiento comprende una entrada (3b) de fluido de calentamiento a la carcasa configurada para la inyección de un fluido calentado, en particular vapor, en la cámara de la carcasa.
6. Sistema de almacenamiento y compresión de hidrógeno según cualquier reivindicación anterior, comprendiendo además un sistema (24) de enfriamiento configurado para enfriar cada uno de los recipientes de almacenamiento y compresión montados en el interior de la carcasa.
7. Sistema de almacenamiento y compresión de hidrógeno según la reivindicación anterior, donde el sistema de enfriamiento comprende una entrada (3a) de fluido de enfriamiento a la carcasa configurada para la inyección de un fluido de enfriamiento, en particular aire o agua, en la cámara de la carcasa.
8. Sistema de almacenamiento y compresión de hidrógeno según cualquier reivindicación anterior, donde cada recipiente (6) de almacenamiento y compresión comprende una pared (6a) de recipiente tubular y tapas (6b, 6c) de extremo que cierran los extremos opuestos de la pared de recipiente tubular, teniendo la pared de recipiente tubular de cada recipiente de almacenamiento y compresión un diámetro  $D$  en un intervalo de 1,5 cm a 10 cm, preferiblemente en un intervalo de 2 cm a 8 cm, más preferiblemente en un intervalo de 3 cm a 6 cm y donde los adyacentes de dicha pluralidad de recipientes de almacenamiento y compresión de dicha al menos una unidad (4) de recipientes múltiples están separados por un espacio (G) que tiene una longitud en un intervalo de entre  $0,02xD$  a  $1xD$ , preferiblemente en un intervalo de  $0,1xD$  a  $0,5xD$ .
9. Sistema de almacenamiento y compresión de hidrógeno según la reivindicación anterior, donde los recipientes de almacenamiento y compresión tienen una longitud en un intervalo de 60 cm a 200 cm, preferiblemente en un intervalo de 80 cm a 150 cm.
10. Sistema de almacenamiento y compresión de hidrógeno según la reivindicación 8 o 9, donde los tubos (5) de flujo de gas comprenden un tubo (8) de conexión en forma de T comprendiendo una sección (8a) de tubo con tapa que se extiende sustancialmente en una dirección axial correspondiente a un eje de la pared del recipiente tubular y una sección (8b) de tubo transversal que se extiende sustancialmente de forma ortogonal a la dirección axial y está soldada a un primer extremo de la sección (8a) de tubo con tapa, estando soldado un segundo extremo de la sección (8a) de tubo de tapa de extremo a una tapa (6c) de entrada del recipiente de almacenamiento y compresión.
11. Sistema de almacenamiento y compresión de hidrógeno según la reivindicación anterior, donde los extremos de la sección (8b) de tubo transversal están soldados a los extremos de las secciones de tubo transversal de recipientes de almacenamiento y compresión adyacentes u opuestos.
12. Sistema de almacenamiento y compresión de hidrógeno según cualquier reivindicación anterior, donde la pluralidad de recipientes de almacenamiento y compresión de dicha al menos una unidad de recipientes múltiples están dispuestos en una fila, siendo los ejes (A) de los recipientes paralelos entre sí.

13. Sistema de almacenamiento y compresión de hidrógeno según cualquier reivindicación anterior, donde cada unidad de recipientes múltiples comprende un filtro (9) colocado en una cara interna de la tapa de entrada que cubre una entrada/salida (7) para impedir que las partículas de hidruro metálico escapen de la cámara por la entrada/salida, en particular donde el filtro (9) comprende o consiste en un disco de metal sinterizado soldado en su periferia a la tapa de entrada.
14. Sistema de almacenamiento de hidrógeno según cualquier reivindicación anterior, donde una pluralidad de unidades (4) de recipientes múltiples están dispuestas como una pila de unidades de recipientes múltiples que forman un módulo (10) de compresión de almacenamiento configurado para contener gas hidrógeno a una presión común.
15. Sistema de almacenamiento y compresión de hidrógeno según cualquier reivindicación anterior utilizado:
- como un sistema de suministro de hidrógeno casi isobárico para absorber y desorber hidrógeno a presión elevada, preferiblemente superior a 5 MPa (50 bar), más preferiblemente superior a 20 MPa (200 bar) y desorberlo a presión sustancialmente constante con un cambio mínimo en la temperatura, preferiblemente con un cambio de temperatura inferior a 40 °C, más preferiblemente con un cambio de temperatura que varía de 20 °C a 30 °C; o
  - para comprimir las corrientes de fuga de gas hidrógeno de un sistema de sellado laberíntico a una presión de succión de un aparato tal como, por poner un ejemplo, un compresor de gas mecánico o una bomba criogénica; o
  - para alimentar hidrógeno a una red de gas o en sistemas de almacenamiento de hidrógeno presurizado de una manera sin vibración ni pulsación.

FIG.1

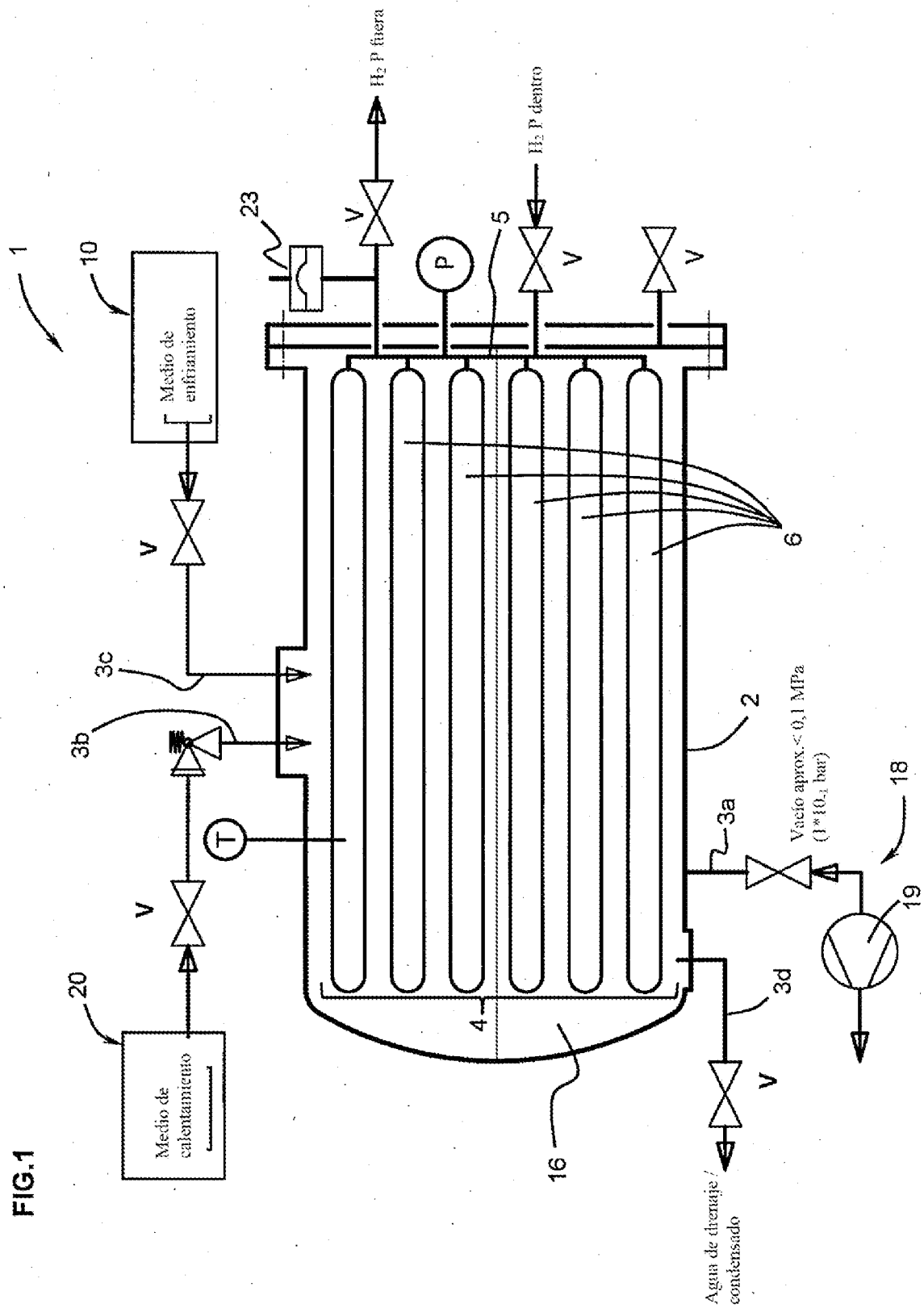


FIG.2

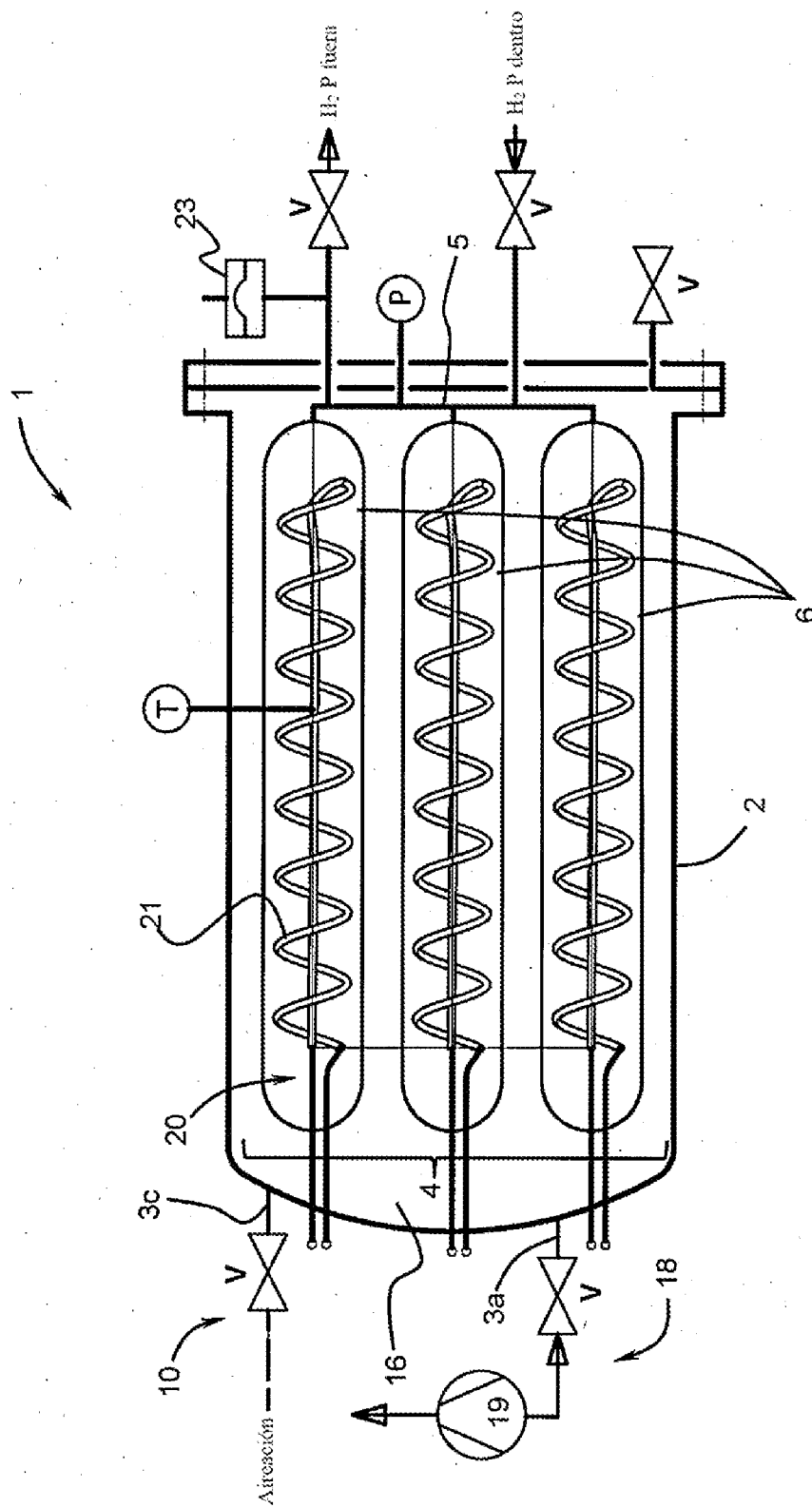


FIG.3

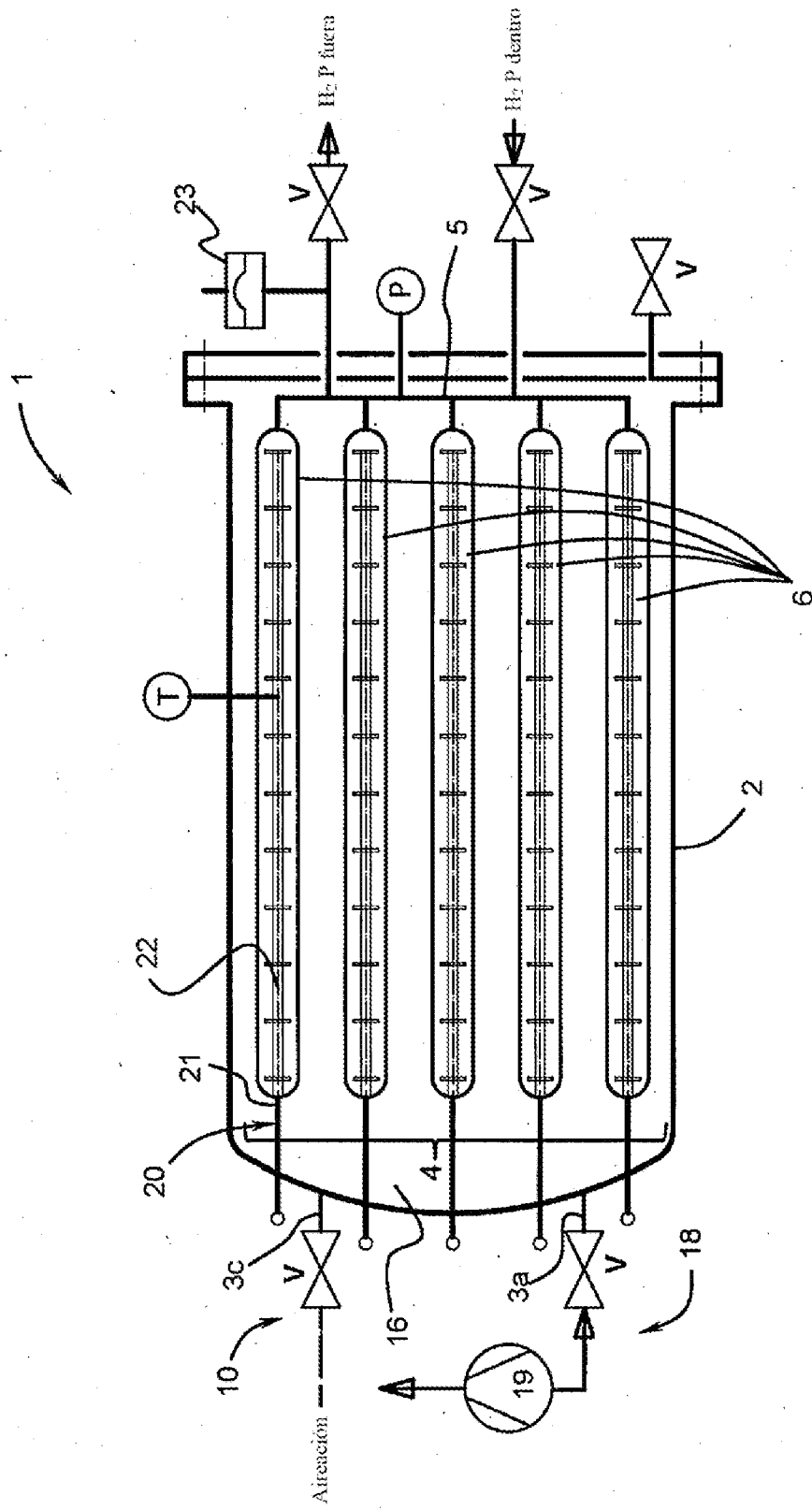


FIG.4

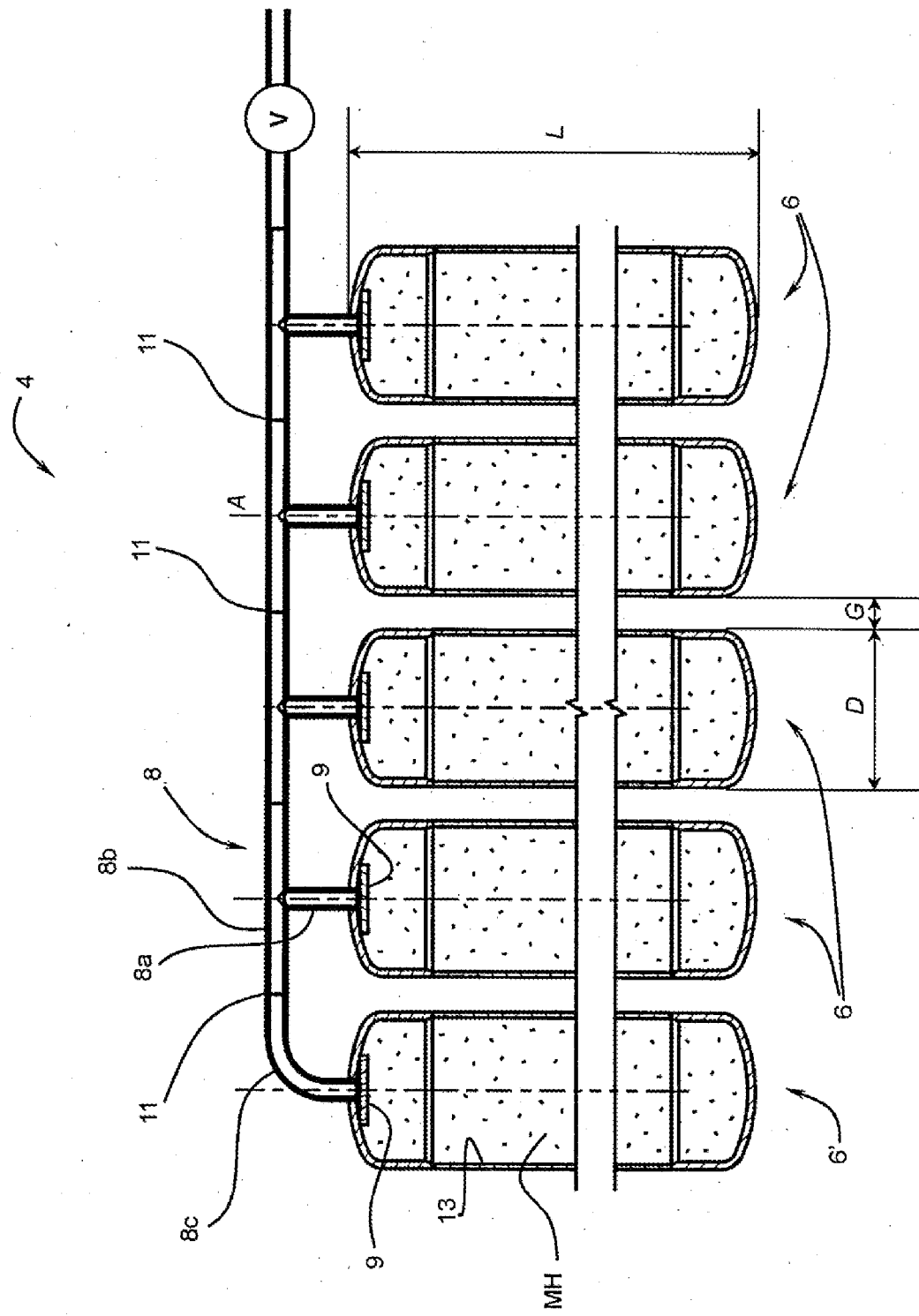


FIG.5

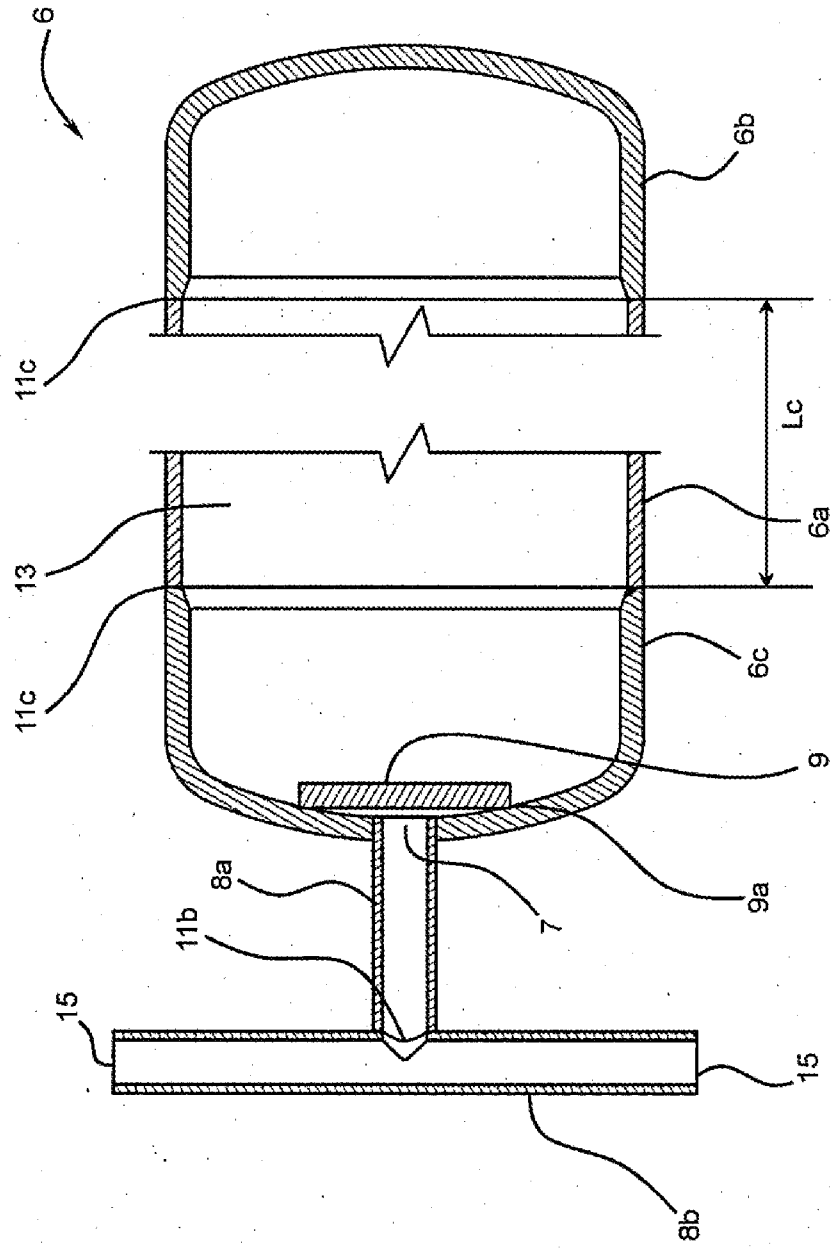


FIG.6b

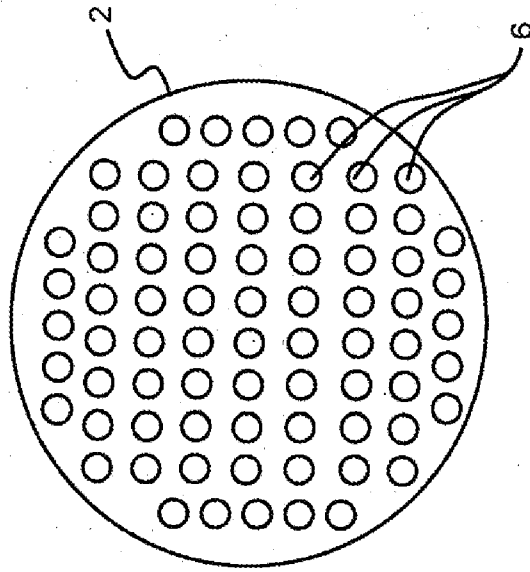


FIG.6a

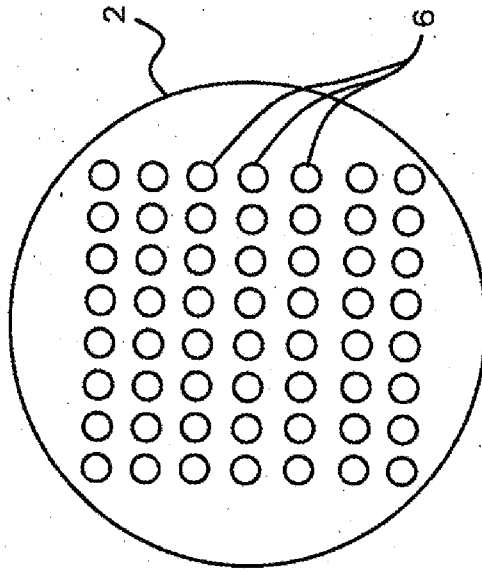
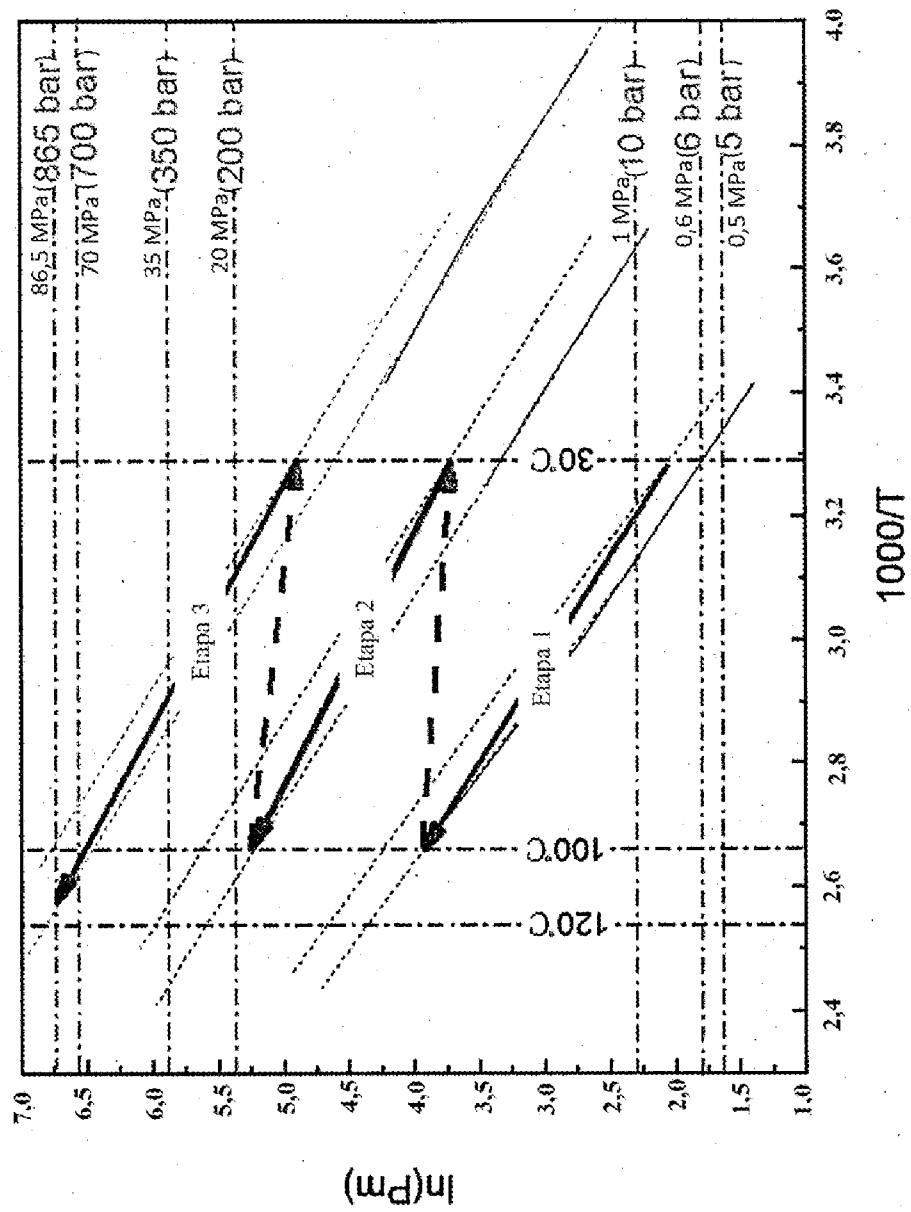


FIG.7



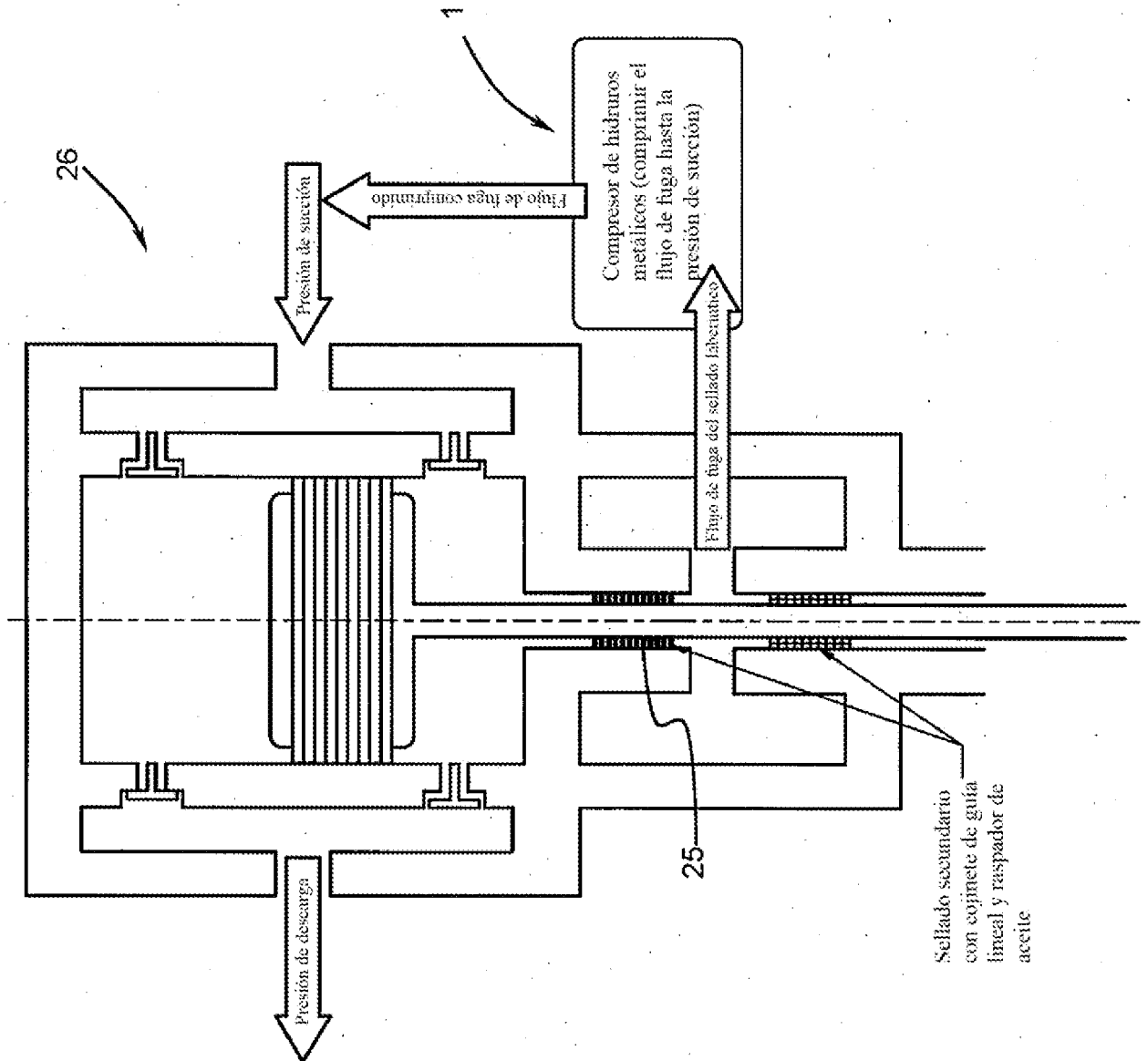


FIG.8