

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 532 004**

51 Int. Cl.:

F17C 11/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **10.11.2010 E 10773926 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **03.12.2014 EP 2499418**

54 Título: **Depósito de almacenamiento de hidrógeno con hidruros metálicos**

30 Prioridad:

13.11.2009 FR 0958022

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
23.03.2015

73 Titular/es:

**COMMISSARIAT À L'ÉNERGIE ATOMIQUE ET
AUX ÉNERGIES ALTERNATIVES (100.0%)
25, Rue Leblanc, Bâtiment "Le Ponant D"
75015 Paris, FR**

72 Inventor/es:

**CHAISE, ALBIN;
ELIE, MANON;
GILLIA, OLIVIER y
PLANQUE, MICHEL**

74 Agente/Representante:

LINAGE GONZÁLEZ, Rafael

ES 2 532 004 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

Depósito de almacenamiento de hidrógeno con hidruros metálicos

5 **Campo técnico y técnica anterior**

La presente invención se refiere a un depósito de almacenamiento de hidrógeno en forma de hidruros metálicos.

10 Se buscan energías alternativas al petróleo debido, concretamente, a la reducción de las reservas de petróleo. Uno de los vectores prometedores de las energías alternativas es el hidrógeno que puede usarse en las pilas de combustible para producir electricidad.

15 El hidrógeno está disponible en una cantidad abundante, puede producirse a partir del carbón, del gas natural o de otros hidrocarburos, pero también mediante simple electrólisis del agua usando, por ejemplo, la electricidad producida por la energía solar o eólica.

20 Las pilas de hidrógeno ya se usan en determinadas aplicaciones, por ejemplo en vehículos automóviles, pero todavía están poco extendidas, concretamente debido a las precauciones que deben tomarse y a las dificultades para el almacenamiento de hidrógeno.

El hidrógeno puede almacenarse en forma de hidrógeno comprimido a entre 350 y 700 bar, lo que plantea problemas de seguridad. Entonces deben preverse depósitos adecuados para resistir esas presiones, sabiendo por otro lado que estos depósitos, cuando se montan en vehículos, pueden estar sometidos a impactos.

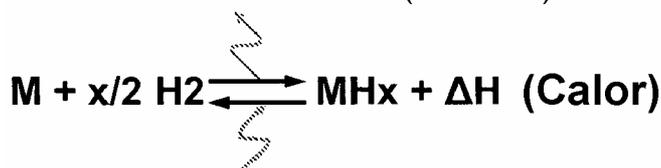
25 Puede almacenarse en forma líquida, no obstante este almacenamiento sólo garantiza un bajo rendimiento y no permite el almacenamiento durante largos periodos. El paso de un volumen de hidrógeno del estado líquido al estado gaseoso en las condiciones normales de presión y de temperatura produce un aumento de su volumen en un factor de aproximadamente 800. Los depósitos de hidrógeno en forma líquida no son en general muy resistentes a los impactos mecánicos, lo cual plantea importantes problemas de seguridad.

30 También existe el almacenamiento de hidrógeno denominado "sólido" en forma de hidruro. Este almacenamiento permite una densidad volumétrica de almacenamiento importante y pone en práctica una presión moderada de hidrógeno al tiempo que minimiza el impacto energético del almacenamiento sobre el rendimiento global de la cadena de hidrógeno, es decir, desde su producción hasta su conversión en otra energía.

35 El principio del almacenamiento sólido de hidrógeno en forma de hidruro es el siguiente: determinados materiales y en particular determinados metales presentan la capacidad de absorber el hidrógeno para formar un hidruro, esta reacción se denomina absorción. El hidruro formado puede dar de nuevo hidrógeno gaseoso y un metal. Esta reacción se denomina desorción. La absorción o la desorción intervienen en función de la presión parcial de hidrógeno y la temperatura.

40 La absorción y la desorción de hidrógeno sobre un polvo o una matriz metálicos M se realizan según la siguiente reacción:

Almacenamiento: calor liberado (exotérmico)



45 Extracción: debe proporcionarse calor (endotérmica)

- siendo M el polvo o la matriz metálicos,

- siendo MHx el hidruro metálico.

50 Se usa por ejemplo un polvo metálico que se pone en contacto con hidrógeno, aparece un fenómeno de absorción y se forma un hidruro metálico. La liberación del hidrógeno se realiza según un mecanismo de desorción.

55 El almacenamiento de hidrógeno es una reacción exotérmica, es decir, desprende calor, mientras que la liberación del hidrógeno es una reacción endotérmica, es decir, que absorbe calor.

Se busca concretamente tener una carga rápida del polvo metálico con hidrógeno. Para obtener tal carga rápida, debe evacuarse el calor producido durante esta carga para evitar frenar la absorción del hidrógeno sobre el polvo o

la matriz metálicos. Durante la descarga de hidrógeno, se aporta calor. Por consiguiente, la eficacia del enfriamiento y del calentamiento condiciona los caudales de carga y de descarga.

5 De manera casi sistemática, el hidruro y el metal, que están ambos presentes en forma de polvo en los depósitos, tienen una diferencia de densidad comprendida entre el 10% y el 30%.

Esta variación de densidad en el interior del depósito tiene dos consecuencias:

10 - por un lado, la aparición de tensiones en el interior de los granos de polvo durante los ciclos de absorción-desorción, lo que provoca su fraccionamiento en granos más pequeños. Este fenómeno se denomina decrepitación.

- por otro lado, el inflamamiento de los granos de polvo a lo largo de la absorción de hidrógeno y el desinflamamiento de los granos durante la desorción. Entonces se prevé un volumen libre por encima del polvo para tener en cuenta este inflamamiento.

15 El fenómeno de decrepitación y el fenómeno de inflamamiento son responsables de una densificación progresiva del lecho de polvo a medida que aumenta el número de ciclos de absorción-desorción. En efecto, la decrepitación hace que aparezcan polvos cada vez más finos que migran por gravedad hacia el fondo del depósito a través de la red de granos. Además, cuando la velocidad del flujo de hidrógeno es lo suficientemente importante, los granos se desplazan y se reordenan en el depósito. Por otro lado, el lecho de polvo tiende a retraerse, es decir, a disminuir de volumen durante una desorción lo cual deja un espacio vacío entre las paredes del depósito y el lecho del material de almacenamiento de hidrógeno. Una migración de los polvos interviene por gravedad hacia este espacio y lo llena. Durante la siguiente absorción, el polvo de hidruro formado no va a comportarse como un fluido. En particular, el nivel del lecho de polvo en el depósito no es el alcanzado durante la absorción anterior. En efecto, los rozamientos de los granos entre sí y contra la pared del depósito impiden que el lecho de polvo se dilate libremente. El inflamamiento de los granos de polvo se compensa entonces por la reducción del tamaño de las porosidades. El lecho de material de almacenamiento de hidrógeno/hidruro se densifica así progresivamente a lo largo de los ciclos de hidruración.

30 Se denomina "ciclo de hidruración" a una fase de absorción seguida por una fase de desorción.

Al ser el lecho de polvo cada vez menos poroso, las tensiones necesarias para reducir adicionalmente la porosidad aumentan con cada hidruración, el inflamamiento de los granos induce por tanto tensiones crecientes sobre las paredes del depósito. Tras un determinado número de ciclos las tensiones son tales que las paredes del depósito pueden experimentar deformaciones plásticas y romperse.

40 El documento US 2005/0211573 describe un depósito de almacenamiento de hidrógeno en forma de hidruro de forma cilíndrica y que comprende compartimentos en forma de sectores angulares distribuidos alrededor del eje del depósito. Los compartimentos comprenden células radiales en las que se dispone el material de almacenamiento de hidrógeno. Esta arquitectura provoca la aparición de tensiones debidas a la densificación del material de almacenamiento de hidrógeno/de hidruro sobre el recinto exterior. A lo largo de los ciclos de hidruración, estas tensiones aumentan. Más allá de un determinado número de ciclos, las tensiones pueden provocar la ruptura del depósito. Este depósito debe ser por tanto objeto de una vigilancia aumentada.

45 El documento US 2005/0211573 describe un depósito cilíndrico que comprende tubos paralelos al eje del depósito cargados con material de almacenamiento de hidrógeno, los tubos se bañan en el fluido caloportador. Esta arquitectura no tiene buenas prestaciones para soportar los fenómenos de dilatación del material de almacenamiento de hidrógeno durante los ciclos de absorción - desorción. En efecto, bajo el efecto de vibración o de movimiento del depósito, el material de almacenamiento de hidrógeno corre el riesgo de acumularse en un extremo de los tubos y de llenar completamente una parte del tubo, es decir de estar en contacto con toda la superficie interior del tubo. Durante el inflamamiento del material de almacenamiento de hidrógeno en estas partes de tubo, se inducen tensiones muy importantes sobre la pared de los tubos que pueden provocar su ruptura.

50 Por otro lado, este depósito presenta una baja densidad volumétrica de almacenamiento ya que necesita dejar un espacio importante sin ocupar por el material de almacenamiento de hidrógeno. En efecto, este tipo de depósito tubular horizontal sólo debe llenarse parcialmente con polvo como máximo al 60% y preferiblemente al 40% del volumen interno del intercambiador, con el fin de evitar esfuerzos demasiado importantes sobre las paredes del depósito a causa del inflamamiento de los granos de hidruro.

60 El documento US 2004/0129048 describe un depósito de hidrógeno en el que el hidrógeno se almacena en forma de hidruro metálico. Este depósito de forma cilíndrica comprende células alargadas llenas de polvo. Se prevén tubos de circulación de agua en determinados canales para evacuar el calor.

65 Por un lado, este dispositivo no garantiza una distribución homogénea del polvo en todo el depósito, lo que puede provocar la aplicación de tensiones que pueden dañar la estructura. Por otro lado, los intercambios de calor no son óptimos. Además, la estructura de canales es compleja de realizar, y el llenado con polvo es molesto.

Por consiguiente, un objetivo de la presente invención es proporcionar un depósito de almacenamiento de hidrógeno que proporcione una resistencia muy buena a las tensiones debidas a la densificación del material de almacenamiento de hidrógeno, al tiempo que proporcione una densidad volumétrica de almacenamiento satisfactoria.

Exposición de la invención

Los objetivos anteriormente mencionados se alcanzan mediante un depósito de hidrógeno de eje longitudinal que comprende un recinto exterior de confinamiento y una estructura interior de distribución del hidruro metálico, comprendiendo dicha estructura una pluralidad de pisos superpuestos, comprendiendo cada piso una pluralidad de compartimentos que se extienden en la dirección del eje longitudinal, comprendiendo los canales un fondo y dos paredes laterales y dos paredes transversales, formando las paredes laterales un ángulo estrictamente superior a 90° con el fondo.

En otras palabras, el compartimento según la presente invención presenta una forma ensanchada, estando los compartimentos dispuestos de manera que las paredes laterales se ensanchan hacia arriba, el material que se encuentra en el fondo del compartimento, que aplica las tensiones más fuertes, puede desplazarse más fácilmente hacia arriba, entonces se reducen las tensiones aplicadas por el polvo en la parte inferior de los compartimentos.

A nivel de la conexión entre los canales, las tangentes a las paredes laterales son ventajosamente secantes lo cual permite aumentar el volumen de los canales con respecto al del espacio entre canales.

Ventajosamente, los compartimentos tienen una forma semicilíndrica.

Preferiblemente, el material de las paredes laterales y del fondo es un material no poroso.

En otro ejemplo, los compartimentos comprenden un fondo plano y paredes laterales que se separan una de otra para definir una forma ensanchada. Esta forma permite aumentar la densidad volumétrica de material de almacenamiento de hidrógeno.

La presente invención tiene por tanto por objeto un depósito de almacenamiento de hidrógeno por absorción en un material de almacenamiento de hidrógeno, teniendo dicho depósito un eje longitudinal y comprendiendo un recinto y una estructura interna dispuesta en el recinto, comprendiendo la estructura interna una pluralidad de pisos y un sistema de intercambio de calor en el interior de la estructura interna, comprendiendo cada piso una pluralidad de compartimentos distribuidos en una pluralidad de filas orientadas según la dirección longitudinal, comprendiendo cada compartimento un fondo, dos paredes laterales, dos paredes transversales y una abertura, estando el fondo destinado a disponerse debajo de la abertura, teniendo dos compartimentos adyacentes de una misma fila un tabique transversal en común, estando dos compartimentos de dos filas adyacentes solidarizados por sus paredes laterales, estando placas dispuestas entre dos pisos sucesivos, formando para el piso superior un soporte y para el piso inferior una tapa, estando dichas placas destinadas a ser sensiblemente horizontales, presentando la abertura de cada compartimento una dimensión transversal superior a la del fondo de dicho compartimento y siendo el ángulo formado entre cada una de las paredes laterales y el fondo estrictamente superior a 90°, conteniendo cada compartimento un material de almacenamiento de hidrógeno.

Preferiblemente, el material de almacenamiento de hidrógeno se ha introducido por la abertura durante el montaje del depósito.

Preferiblemente, el material de las paredes laterales y del fondo es un material no poroso.

Según un ejemplo de realización, los volúmenes definidos entre dos paredes laterales de dos filas de compartimentos adyacentes y la placa que forma el soporte forman conductos de flujo de un caloportador.

Según otro ejemplo de realización, el caloportador fluye directamente en los conductos entrando en contacto con las paredes laterales.

Ventajosamente, cada compartimento tiene una forma semicilíndrica, teniendo el cilindro del que procede el compartimento una sección circular.

Los compartimentos también pueden comprender un fondo plano y paredes laterales cóncavas o planas.

Las paredes laterales pueden ser secantes con el plano de la placa que forma la tapa.

En un ejemplo de realización, las paredes laterales de los compartimentos de una fila se realizan de una sola pieza.

El depósito según la presente invención puede comprender subconjuntos formados por una pluralidad de

compartimentos de un piso, siendo dichos compartimentos solidarios con la placa que forma el soporte, apilándose dichos subconjuntos para formar la estructura interna. Cada conducto puede conectarse entonces de manera estanca con el circuito de caloportador.

5 En una variante de realización, el depósito según la presente invención puede comprender subconjuntos formados por una pluralidad de compartimentos de un piso, siendo dichos compartimentos solidarios con la placa que forma la tapa, apilándose dichos subconjuntos para formar la estructura interna. La tapa puede cerrar de manera estanca los compartimentos, estando la estructura interna dispuesta en un baño de caloportador.

10 Las paredes transversales comprenden ventajosamente al menos un orificio para permitir el paso del hidrógeno de un compartimento a otro de una misma fila.

En una variante, un tubo poroso atraviesa los compartimentos de una misma fila para alimentar dichos compartimentos con hidrógeno. Ventajosamente, el tubo está en el fondo de los compartimentos y sensiblemente en su plano de simetría.

15 De manera preferida, los compartimentos se realizan de un material que proporciona un buen coeficiente de intercambio de calor, tal como aluminio o cobre.

20 La presente invención también tiene por objeto un procedimiento de realización de un depósito según la presente invención, que comprende las etapas de:

a) realizar canales que tienen una sección transversal idéntica a las de los compartimentos,

25 b) fijar tabiques (18) transversales en los canales que delimitan los compartimentos,

c) solidarizar una placa con dichos canales,

30 d) colocar material de almacenamiento de hidrógeno individualmente en cada compartimento,

e) repetir las etapas a), b), etc.) hasta obtener el número de subconjuntos requeridos,

f) apilar dichos subconjuntos,

35 g) colocar el apilamiento en un recinto,

h) alimentar con hidrógeno.

Los canales se realizan por ejemplo mediante plegado de una chapa.

40 En un ejemplo de realización, la etapa c) tiene lugar antes que la etapa b) y en el que la placa obtura de manera estanca los canales, formando una tapa. El apilamiento puede disponerse entonces en un baño de caloportador.

45 En otro ejemplo de realización, durante la etapa b), se solidariza la placa con los fondos de los canales, formando la tapa del piso inferior. Los conductos que están delimitados entre los canales y la tapa del piso inferior pueden conectarse de manera estanca al sistema de intercambio de calor.

Breve descripción de los dibujos

50 La presente invención se comprenderá mejor con ayuda de la siguiente descripción y de los dibujos adjuntos, en los que:

- la figura 1 es una vista en perspectiva parcial de un ejemplo de realización de un depósito según la presente invención y en la que puede verse la estructura interna de un depósito según la presente invención,

55 - la figura 2 es una vista en perspectiva de un piso aislado de la estructura de la figura 1,

- la figura 3A es una vista en perspectiva de una parte del piso de la figura 2,

60 - la figura 3B es una vista en perspectiva de un compartimento solo de la figura 3A,

- la figura 4 es una vista en sección transversal de la figura 3,

65 - la figura 5 es una vista en sección longitudinal de otro ejemplo de realización de los pisos de la estructura interna del depósito,

- las figuras 6A y 6B son vistas en sección transversales de otros ejemplos de realización de compartimentos según la presente invención,

5 - las figuras 7A y 7B son representaciones esquemáticas respectivamente de las tensiones ejercidas por el material de almacenamiento de hidrógeno sobre las paredes laterales de compartimento según la presente invención y de un compartimento del estado de la técnica respectivamente.

Exposición detallada de modos de realización particulares

10 En la figura 1 puede verse un ejemplo de realización de un depósito de hidrógeno según la presente invención.

El depósito comprende un recinto 2 exterior adecuado para resistir la presión de hidrógeno, y una estructura 4 interna de alojamiento de un material 6 de almacenamiento de hidrógeno representado en la figura 5.

15 El recinto 2 exterior tiene, en el ejemplo representado, la forma de un cilindro de sección circular de eje longitudinal X. Esta forma es ventajosa para la resistencia a la presión, pero no es en ningún caso limitativa, el recinto 2 exterior podría tener por ejemplo una sección tórica o cuadrada.

20 El depósito está destinado a disponerse de manera sensiblemente horizontal en funcionamiento. Por consiguiente, el eje X está destinado a estar en la horizontal o sensiblemente en la horizontal.

En la presente solicitud, se denominan "superior" e "inferior" los elementos o las partes de elemento destinados a tener una posición alta o baja en la representación del depósito de la figura 1, pero esto no es en ningún caso limitativo.

25 El recinto 2 exterior es por ejemplo de acero inoxidable, de aluminio o de material compuesto tejido. El nivel de presión al que puede someterse el recinto está comprendido entre 0 y 200 bar.

30 En general, el depósito está conectado a un circuito de circulación de hidrógeno conectado a uno o a los dos extremos longitudinales del recinto para cargar el depósito con hidrógeno y descargar el depósito de hidrógeno. Además, un sistema de intercambio de calor que se describirá a continuación garantiza la circulación de un extremo longitudinal al otro de un caloportador. Por tanto, el depósito se somete generalmente a flujos de hidrógeno y de caloportador orientados longitudinalmente.

35 El depósito, y más particularmente la estructura interna, presentan entonces ventajosamente una arquitectura adaptada a flujos longitudinales. Pero la presente invención puede adaptarse a flujos que tienen otra orientación.

La estructura 4 interna comprende una pluralidad de pisos E1, E2,... En superpuestos, siendo n un número entero natural.

40 Cada piso E1, E2,... En comprende una pluralidad de compartimentos 8 distribuidos en filas paralelas, que contienen cada uno el material 6 de almacenamiento de hidrógeno. La distribución de los compartimentos es ventajosa debido a la dirección longitudinal de los flujos de hidrógeno y de caloportador.

45 Los compartimentos 8 se realizan ventajosamente a partir de canales 10 de ejes longitudinales paralelos al eje longitudinal X del recinto. Los canales son adyacentes y son solidarios por sus paredes laterales. Estos son particularmente visibles en las figuras 2 y 3A.

Los canales comprenden un fondo 12, dos paredes 14 laterales y una tapa.

50 En el ejemplo representado, los canales tienen la forma de semitubos cortados según un plano que pasa por su eje. En este ejemplo de realización, el fondo se confunde con las paredes laterales.

55 En la figura 3B en la que se representa un único compartimento 8, cada pared 14 lateral forma con el fondo 12 un ángulo α estrictamente superior a 90° de manera que los compartimentos 8 tienen una forma ensanchada, facilitando el desplazamiento del polvo del material de almacenamiento de hidrógeno durante su inflamamiento. Más precisamente, en el ejemplo representado, son las tangentes t_{14} a las paredes 14 las que forman un ángulo estrictamente superior a 90° con el fondo 12.

60 Los canales 10 se conectan entre sí a nivel de sus paredes laterales.

65 Ventajosamente, las tangentes de las paredes 14 laterales adyacentes son secantes, lo que permite aumentar el volumen de los canales con respecto al volumen del espacio entre los canales, lo cual se describirá a continuación, y por tanto aumentar la densidad volumétrica del depósito con material de almacenamiento de hidrógeno. En el ejemplo el que los canales tienen la forma de semitubos cortados según un plano que pasa por su eje, las tangentes a las paredes laterales son casi ortogonales al fondo.

Están delimitados compartimentos 8 en los canales por tabiques 18 transversales fijados en los canales. Estos tabiques 18 impiden que el material de almacenamiento de hidrógeno se desplace longitudinalmente y se acumule en un extremo de los canales. Ventajosamente, los tabiques 18 transversales están distribuidos de manera regular para delimitar compartimentos de tamaños sensiblemente idénticos. En este ejemplo de realización, los tabiques 18 transversales tienen la forma de semidisco.

El depósito comprende medios para alimentar los compartimentos con hidrógeno y recoger el mismo. Por ejemplo, las paredes 18 transversales pueden comprender al menos un agujero 20 pasante para permitir que el hidrógeno circule de un compartimento al compartimento siguiente de un canal, permitiendo cargar el material de almacenamiento de hidrógeno con hidrógeno y recoger el hidrógeno liberado durante la desorción. Preferiblemente, este agujero presenta una pequeña sección para limitar el paso de material de almacenamiento de hidrógeno de un compartimento al otro. Ventajosamente, este agujero está situado en la parte superior de los tabiques, reduciendo adicionalmente los riesgos de circulación de material de almacenamiento de hidrógeno. En el ejemplo representado, se trata de una muesca 20 a nivel del extremo 18.1 libre de los tabiques 18. Un volumen 25 libre está previsto por encima del material de almacenamiento de hidrógeno para compensar el inflamamiento del material de almacenamiento de hidrógeno, este volumen 25 libre permite que el hidrógeno circule de un compartimento 8 a otro.

Un juego entre la tapa y la parte superior de las paredes transversales también puede garantizar la alimentación y la recogida del hidrógeno.

Como variante, también puede preverse disponer un tubo de alimentación con hidrógeno (no representado) que discurre en los compartimentos 8 de un mismo canal. Este tubo es, por ejemplo, poroso.

El tubo poroso garantiza una distribución de hidrógeno en cada compartimento de un mismo canal a una presión homogénea.

De manera ventajosa, el tubo está situado en la parte inferior del canal y/o en el plano de simetría de dicho canal, lo que no estorba al inflamamiento del polvo durante las fases de absorción.

En el caso en el que se ponen en práctica tubos de alimentación, puede preverse solidarizar los tabiques 18 transversales y el tubo y colocar el conjunto así formado en el canal, lo que simplifica la realización de los compartimentos. También pueden solidarizarse los tabiques 18 con un vástago longitudinal que permite una colocación fácil y rápida de los tabiques.

Los compartimentos se cierran por una tapa. Ventajosamente, se trata de una tapa común a todos los compartimentos de un mismo piso que se presenta en forma de una placa.

Por tanto, vista en sección transversal, la estructura interna comprende placas P que forman una tapa para los compartimentos del piso inferior y que forman un soporte para los compartimentos del piso superior.

Se disponen conductos 26 longitudinales entre las placas P y las caras exteriores de los canales 10. En el ejemplo representado, estos conductos 26 tienen una sección transversal que tiene sensiblemente una forma de triángulo isósceles cuyos dos lados de igual longitud son cóncavos.

La estructura de la invención aísla los pisos unos de otros impidiendo que el material 6 de almacenamiento de hidrógeno que se encuentra en forma de polvo caiga por gravedad hacia un piso inferior y se acumule en la parte inferior del depósito. Los tabiques 18 limitan los desplazamientos longitudinales y las paredes 14 laterales limitan los desplazamientos transversales. Gracias a la invención, se mantiene la distribución del material de almacenamiento de hidrógeno en el depósito establecido durante el ensamblaje del depósito, esta distribución es homogénea y garantiza una resistencia a las tensiones debidas a la densificación.

El depósito también comprende un intercambiador de calor destinado a extraer el calor de los compartimentos 8, durante la fase de absorción, y a aportar calor durante la fase de desorción.

El intercambiador de calor está formado en los conductos 26 y permite hacer circular el caloportador en el interior de la estructura 4 interna y lo más cerca posible del material de almacenamiento de hidrógeno. De manera particularmente ventajosa, el fluido circula directamente en los conductos 26 y por tanto está directamente en contacto con la superficie exterior de los compartimentos 8, lo que hace que la extracción y el aporte de calor sean muy eficaces.

Como variante, puede considerarse disponer tubos en los que circula el caloportador en los conductos 26. En este caso, se simplifica la conexión al sistema de alimentación con caloportador.

De manera ventajosa, los canales se realizan de un material que presenta un buen coeficiente de intercambio de calor, tal como aluminio o cobre, garantizando un buen intercambio entre el caloportador y el material de

almacenamiento de hidrógeno. Estos materiales presentan además la ventaja de ser de fácil conformación. Preferiblemente, el material de las paredes laterales y del fondo es un material no poroso.

La estructura interna puede realizarse a partir de subconjuntos de estructuras diferentes.

5 En la figura 2, puede verse un primer ejemplo de realización de un subconjunto 28 de la estructura 4 interna de un depósito según la presente invención. En este ejemplo de realización, los subconjuntos 28 son tales que hacen que el interior de los compartimentos sea perfectamente estanco e independiente en cuanto a la presión del resto del depósito.

10 En este ejemplo, los canales 10 se realizan individualmente, por ejemplo a partir de tubos cortados según un plano que pasa por su eje, lo que permite realizar dos canales simultáneamente. Los tabiques 18 transversales se fijan a continuación en los canales, por ejemplo mediante soldadura o mediante soldadura fuerte. También es posible usar una chapa plegada cuyos "pliegues" se unen mediante soldadura o soldadura fuerte a una placa plana superior.

15 Tal como se indicó anteriormente, también puede preverse ensamblar previamente los tabiques 18 transversales sobre un tubo poroso, o sobre vástagos, y colocar este ensamblaje en los canales.

20 A continuación se fijan los canales entre sí por sus paredes laterales, por ejemplo, mediante soldadura o soldadura fuerte, de manera que se forma una estructura única.

A continuación se dispone el material de almacenamiento de hidrógeno, que puede encontrarse en forma de polvo o de un bloque sólido, en cada uno de los compartimentos.

25 A continuación se fija una brida (no representada) mediante soldadura o soldadura fuerte a los extremos de los tubos bajo atmósfera controlada, de manera que se cierran de manera estanca los extremos longitudinales de los canales.

30 A continuación se fija la placa de manera estanca sobre los canales, a nivel de los extremos superiores de las paredes laterales, por ejemplo mediante soldadura o soldadura fuerte.

Debe observarse que estas etapas tienen lugar preferiblemente en una caja de guantes ya que el material de almacenamiento de hidrógeno es muy sensible a las atmósferas oxidantes.

35 A continuación se apilan los subconjuntos estancos así realizados hasta alcanzar el número de pisos requeridos.

Los pisos pueden solidarizarse entre sí o no.

40 Si no están solidarizados entre sí, la alimentación de cada piso con hidrógeno es ventajosamente resiliente (flexible), limitando los riesgos de escapes durante el desplazamiento de un subconjunto con respecto a otro.

Si los pisos se mantienen inmóviles unos con respecto a otros, el circuito de alimentación puede ser rígido, lo cual simplifica su realización.

45 A continuación se realiza la conexión de los diferentes canales 10 al circuito de hidrógeno.

En el ejemplo de la figura 1, el depósito tiene una sección circular, los subconjuntos tienen entonces un tamaño variable según el piso que forman. En el caso de un depósito de sección cuadrada, los subconjuntos son idénticos.

50 Estos subconjuntos 28 presentan la ventaja de ser fácilmente manipulables ya que el material de almacenamiento de hidrógeno está encerrado de manera estanca en los canales.

55 En este ejemplo de realización, puede preverse que la estructura 4 interna así ensamblada se disponga en una envuelta de tipo "caja de agua", bañando la estructura 4 interna en el fluido caloportador, y se conecta un circuito de hidrógeno a los canales. La envuelta resiste la presión del fluido caloportador, garantizándose la resistencia a la presión de hidrógeno por los propios compartimentos.

60 El fluido caloportador llena entonces los conductos 26. El intercambiador de calor comprende un dispositivo para poner este fluido en movimiento de manera que se mejora la extracción y el aporte de calor, tal como una bomba.

A continuación se dispone este conjunto en el recinto 2 que forma la caja de agua.

El intercambiador de calor se realiza entonces de manera relativamente sencilla.

65 Este ejemplo de realización del intercambiador de calor no es en ningún caso limitativo y podría preverse realizar una conexión estanca a nivel de cada uno de los conductos 26 con un sistema de circulación del fluido caloportador.

En la figura 5, puede verse otro ejemplo de realización de subconjuntos 30 para realizar la estructura interna de la figura 1. En este ejemplo, los canales se realizan de una sola pieza a partir de una chapa plegada en una sucesión de canalones, formando los canales tal como se representa en la figura 5. Los subconjuntos se realizan de manera que se hace que los conductos 26 de circulación del fluido caloportador sean estancos e independientes en cuanto a la presión del resto del depósito.

A continuación, se fija el fondo de cada canalón sobre una placa plana, por ejemplo mediante soldadura o soldadura fuerte.

A continuación se obturan de manera estanca los conductos 26 de circulación del fluido caloportador, por ejemplo por medio de bridas fijadas mediante soldadura o soldadura fuerte.

A continuación se montan los tabiques 18 en los canales tal como se explicó anteriormente, y se dispone el material 6 de almacenamiento de hidrógeno en forma de polvo o de bloques en cada uno de compartimentos.

A continuación se apilan los subconjuntos 30 hasta alcanzar el número de pisos requeridos.

Los pisos se solidarizan, por ejemplo, entre sí por medio de las bridas de conexión con el circuito de fluido caloportador.

Entonces puede colocarse la estructura interna así ensamblada en el recinto 2 adecuado para resistir la presión de gas y se llena con una atmósfera de hidrógeno. Los conductos 26 están previstos entonces para resistir la diferencia de presión entre el fluido caloportador y el hidrógeno. El circuito del intercambiador de calor se conecta a los conductos 26 de circulación del fluido a través de las bridas.

En las figuras 6A y 6B pueden verse variantes de realización de los compartimentos según la presente invención.

En la figura 6A, los compartimentos comprenden un fondo 12' plano y dos paredes 14' laterales cóncavas, el ángulo entre las tangentes t_{14} , y el fondo 12' es estrictamente superior a 90°.

En la figura 6B, los compartimentos comprenden un fondo 12" plano y dos paredes 14" laterales planas inclinadas y que se alejan una de otra formando una abertura ensanchada, el ángulo entre las paredes 14" y el fondo 12" es estrictamente superior a 90°.

Estos compartimentos presentan la ventaja de aumentar la densidad volumétrica del material de almacenamiento. En efecto, al reducirse el volumen de los conductos 26', 26" entre los compartimentos, se aumenta el volumen de los compartimentos, permitiendo aumentar la cantidad de material de almacenamiento de hidrógeno. Debe observarse no obstante que el enfriamiento obtenido mediante estos conductos 26' de tamaño reducido no es suficiente para una gran mayoría de condiciones de funcionamiento de los depósitos a base de hidruros.

A modo de ejemplo, el material dispuesto en los compartimentos puede estar compuesto por uno o varios materiales usados para el almacenamiento de hidrógeno. Estos materiales de almacenamiento de hidrógeno pueden elegirse de diferentes familias tales como AB, A₂B, A₂B₇, AB₂ o AB₅ o ser una mezcla de estas familias de materiales.

Los hidruros metálicos reversibles de fórmula A_mB_n están constituidos por un elemento A que forma un hidruro estable tal como los metales alcalinos o alcalinotérreos tales como el litio, el calcio o el magnesio, los metales de transición de la cuarta o la quinta columna tales como el circonio, el titanio, o finalmente las tierras raras metálicas tales como el lantano, el cerio, y por un elemento B que forma un hidruro inestable en las condiciones estándar de temperatura y de presión, tales como la mayor parte de los metales de transición tales como el cromo, el cobalto, el níquel o el hierro.

Estos materiales pueden tener una estructura cúbica centrada (cc), una estructura cúbica centrada en las caras (ccc) o una estructura cristalográfica de tipo C-14 o C-15.

Por ejemplo, estos materiales pueden ser Mg, Mg-Ni, Mg-Cu, Ti-Fe, Ti-Mn, Ti-Ni, Ti-V, Mn-Ni, Ti-V-Cr, Ti-V-Fe. Las capacidades de absorción de hidrógeno en función de las presiones y de las temperaturas usadas varían según los materiales de almacenamiento de hidrógeno.

También pueden usarse otros materiales que absorben hidrógeno tales como los hidruros químicos complejos con elementos ligeros tales como los alantatos (NaAlH₄), los hidruros a base de Li y de B tales como LiBH₄, NaBH₄, o incluso imidas o amidas, en la geometría descrita en la presente invención.

Ahora va a explicarse el funcionamiento de este depósito.

Cuando se desea cargar el depósito con hidrógeno, se hace circular hidrógeno en el depósito, por ejemplo en los

tubos porosos. Al ser la reacción de absorción exotérmica, se desprende calor. Se evacúa el calor simultáneamente haciendo circular un caloportador frío en los conductos 26 que está en contacto con la superficie exterior de los compartimentos. Cuando más rápida y eficazmente se evacúa el calor, más rápida es la carga del depósito. El material cargado con hidrógeno forma entonces un hidruro metálico. Tal como ya se explicó, el material se infla debido a la absorción y se decrepita, para formar polvo.

5
10 Cuando se desea disponer del hidrógeno contenido en el depósito, se baja la presión de hidrógeno en el depósito o bien se calienta el hidruro a través de los conductos 26 del intercambiador de calor. El hidrógeno se desorbe. El hidrógeno así liberado circula de un compartimento a otro a través de las ranuras realizadas en la parte superior de los tabiques 18 y se recoge en un extremo longitudinal del depósito.

15 La temperatura de carga y de descarga del depósito varía, por ejemplo, entre -20°C y 400°C . La presión de carga varía, por ejemplo, entre 0,1 bar y 200 bar de H_2 , y la presión de descarga varía, por ejemplo, entre 100 bar y 0 bar (absolutos).

20 Gracias a la presente invención, y a la elección particular de la forma de los compartimentos, el polvo de hidruro puede ocupar entre el 40 y el 60% del volumen total de un depósito, se obtiene así una densidad volumétrica de almacenamiento satisfactoria. Es posible aumentar adicionalmente la densidad de almacenamiento usando compartimentos que presentan un fondo plano tal como los representados en las figuras 6A y 6B, lo que permite aumentar el volumen de almacenamiento de los compartimentos 8.

25 Por otro lado, la forma semicilíndrica, y más generalmente la forma ensanchada de los compartimentos 8, permite evitar la acumulación de tensiones F en el fondo de los compartimentos tal como se esquematiza en la figura 7A, mientras que en el caso de un compartimento 108 de sección rectangular aparece esta concentración de tensiones F (figura 7B). En efecto, el volumen de polvo en el fondo de la célula es el más denso y susceptible de ejercer las mayores tensiones sobre las paredes. Ahora bien, la forma muy ensanchada del fondo del compartimento permite que el polvo tenga prácticamente libertad para dilatarse. Las tensiones ejercidas sobre la pared son regulares y de baja amplitud.

30 Mientras que cuando un lecho de polvo está confinado en un compartimento rectangular, siendo las paredes verticales en toda su altura, las tensiones ejercidas sobre la pared son bajas en la parte superior: los rozamientos son menores y el polvo tiene más libertad para dilatarse, por el contrario son muy elevados en el fondo del compartimento en el que el material se encuentra confinado por el efecto de las fuerzas de rozamiento sobre las paredes laterales en la parte superior del compartimento.

35 En el ejemplo de compartimento según la invención de la figura 7A, las paredes en la parte superior de la célula semiesférica son ciertamente verticales, pero de la misma manera, los polvos en la parte superior de la célula sólo son susceptibles de ejercer bajas tensiones, lo cual no supone penalizaciones.

40 Además, gracias al procedimiento de fabricación de la estructura interna, el material se coloca individualmente en cada compartimento, lo que permite garantizar en la fabricación una buena distribución del mismo que se mantiene concretamente gracias a los tabiques 18 transversales. Estos tabiques 18 transversales impiden los movimientos del polvo a gran escala en el depósito, lo que hace que el depósito según la presente invención pueda usarse en aplicaciones de a bordo o móviles.

45 La invención también garantiza una transferencia eficaz del calor de reacción del lecho de hidruro al fluido caloportador. En efecto, la superficie de contacto entre el fluido y los compartimentos es grande, lo que permite el empleo de fluido que tiene un coeficiente de intercambio bajo sin perjudicar a las prestaciones en cuanto a caudales de absorción y de desorción de hidrógeno. El radio de los canales controla los caudales máximos de hidrógeno absorbido o desorbido: el radio también es la longitud característica de difusión térmica del depósito. Cuanto menor es esta distancia, más rápida será la transferencia del calor de reacción.

50 Por ejemplo, el radio está comprendido entre 1 cm y 5 cm, y ventajosamente es igual a 2 cm. La longitud de los compartimentos es aproximadamente igual a 2 veces el radio. Las dimensiones del depósito en anchura, longitud y altura están comprendidas, por ejemplo, entre 5 veces el radio y 100 veces el radio de los semitubos.

55 El depósito según la presente invención puede aplicarse en el conjunto de las aplicaciones que ponen en práctica un almacenamiento de hidrógeno, a la vez en los campos que ponen en práctica un almacenamiento de grandes cantidades y en aquéllos que necesitan almacenamientos de pequeñas cantidades.

60 Por ejemplo, puede usarse como depósito para medios de locomoción, tales como barcos, submarinos, y tales como coches particulares, autobuses, camiones, maquinaria de construcción o agrícola, vehículos de dos ruedas.

65 También puede usarse en las alimentaciones para los dispositivos portátiles tales como los aparatos electrónicos portátiles (teléfonos móviles, ordenadores portátiles,...).

ES 2 532 004 T3

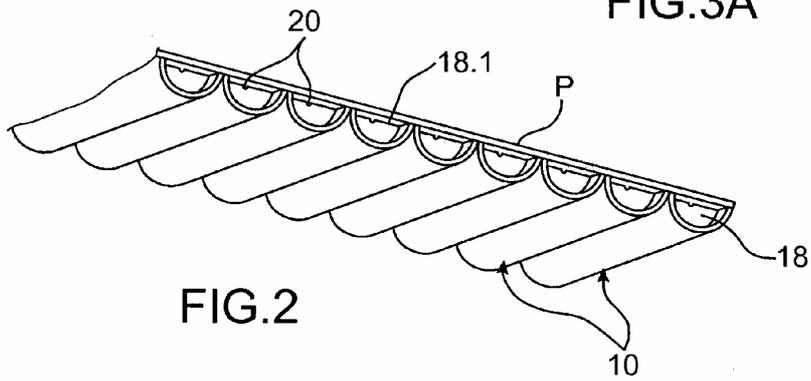
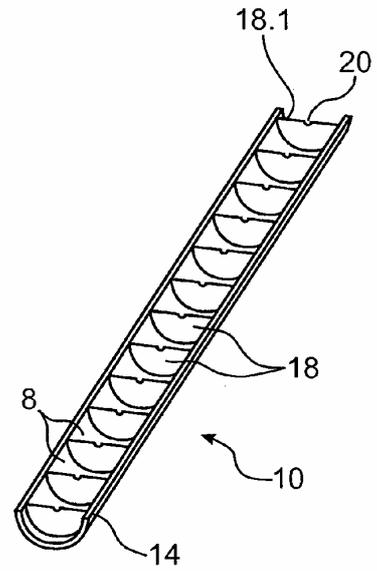
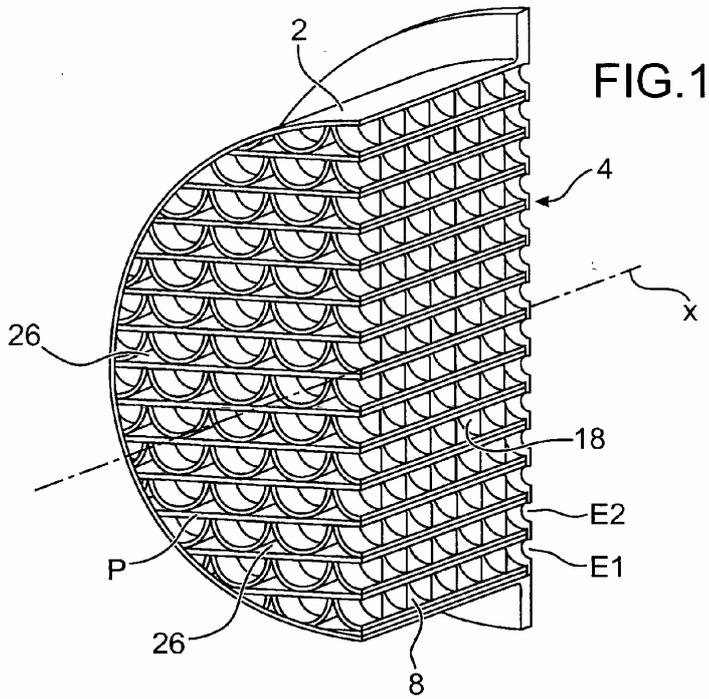
También puede aplicarse a los sistemas de almacenamiento en mayor cantidad, tales como para grupos electrógenos, para el almacenamiento de hidrógeno producido en gran cantidad gracias a la energía de los aerogeneradores, de los paneles fotovoltaicos o de la geotermia.

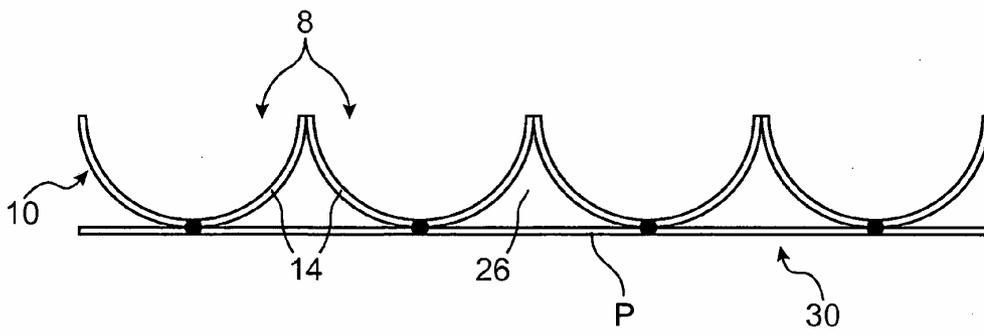
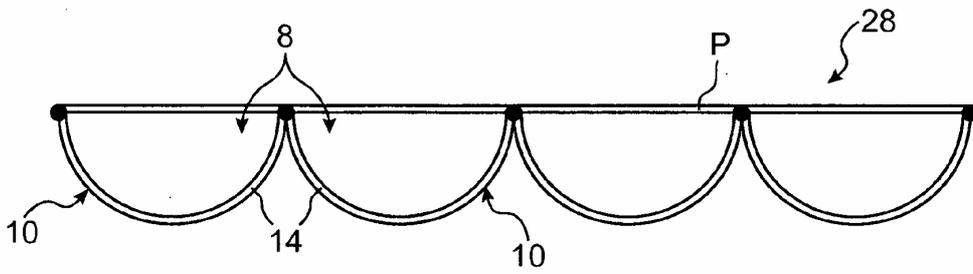
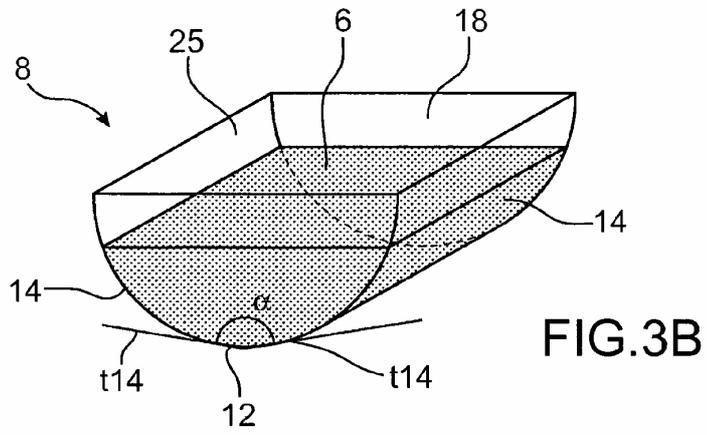
REIVINDICACIONES

1. Depósito de almacenamiento de hidrógeno por absorción en un material de almacenamiento de hidrógeno, teniendo dicho depósito un eje longitudinal (X) y comprendiendo un recinto (2) y una estructura (4) interna dispuesta en el recinto (2), comprendiendo la estructura (4) interna una pluralidad de pisos (E1, E2,...En) y un sistema de intercambio de calor en el interior de la estructura (4) interna, comprendiendo cada piso (E1, E2,...En) una pluralidad de compartimentos (8) distribuidos en una pluralidad de filas orientadas según la dirección longitudinal, comprendiendo cada compartimento un fondo (12, 12', 12''), dos paredes (14, 14', 14'') laterales, dos paredes (18) transversales y una abertura, estando el fondo destinado a disponerse debajo de la abertura, teniendo dos compartimentos adyacentes de una misma fila un tabique (18) transversal en común, estando dos compartimentos (8) de dos filas adyacentes solidarizados por sus paredes laterales, estando placas (P) dispuestas entre dos pisos sucesivos, formando para el piso superior un soporte y para el piso inferior una tapa, estando dichas placas (P) destinadas a ser sensiblemente horizontales, presentando la abertura de cada compartimento (8) una dimensión transversal superior a la del fondo de dicho compartimento y siendo el ángulo formado entre cada una de las paredes (14, 14', 14'') laterales y el fondo (10, 10', 10'') estrictamente superior a 90°, conteniendo cada compartimento (8) un material de almacenamiento de hidrógeno, en el que los volúmenes definidos entre dos paredes (14, 14', 14'') laterales de dos filas de compartimentos adyacentes y la placa (P) que forma el soporte forman conductos (26, 26') de flujo de un caloportador.
2. Depósito según la reivindicación 1, en el que el caloportador fluye directamente en los conductos (26, 26') entrando en contacto con las paredes (14, 14', 14'') laterales.
3. Depósito según la reivindicación 1 ó 2, en el que cada compartimento (8) tiene una forma semicilíndrica, teniendo el cilindro del que procede el compartimento una sección circular.
4. Depósito según la reivindicación 1 ó 2, en el que cada compartimento (8) comprende un fondo (12', 12'') plano y paredes (14', 14'') laterales cóncavas o planas.
5. Depósito según una de las reivindicaciones anteriores, en el que las paredes (14, 14', 14'') laterales son secantes con el plano de la placa (P) que forma la tapa.
6. Depósito según una de las reivindicaciones anteriores, en el que las paredes laterales de los compartimentos (8) de una fila se realizan de una sola pieza.
7. Depósito según una de las reivindicaciones 1 a 6, que comprende subconjuntos (30) formados por una pluralidad de compartimentos de un piso, siendo dichos compartimentos (8) solidarios con la placa que forma el soporte, apilándose dichos subconjuntos (30) para formar la estructura interna.
8. Depósito según la reivindicación anterior, en el que cada conducto (26) se conecta de manera estanca al circuito de caloportador.
9. Depósito según una de las reivindicaciones 1 a 6, que comprende subconjuntos (28) formados por una pluralidad de compartimentos de un piso, siendo dichos compartimentos (8) solidarios con la placa (P) que forma la tapa, apilándose dichos subconjuntos (28) para formar la estructura interna.
10. Depósito según la reivindicación anterior, en el que la tapa (P) cierra de manera estanca los compartimentos (8), estando la estructura interna dispuesta en un baño de caloportador.
11. Depósito según una de las reivindicaciones 1 a 10, en el que las paredes (18) transversales comprenden al menos un orificio para permitir el paso del hidrógeno de un compartimento a otro de un mismo canal.
12. Depósito según una de las reivindicaciones 1 a 10, en el que un tubo poroso atraviesa los compartimentos (8) de una misma fila para alimentar dichos compartimentos (8) con hidrógeno, ventajosamente el tubo está en el fondo de los compartimentos (8) y sensiblemente en su plano de simetría.
13. Depósito según una de las reivindicaciones 1 a 12, en el que los compartimentos (8) se realizan de un material que proporciona un buen coeficiente de intercambio de calor, tal como aluminio o cobre.
14. Depósito según una de las reivindicaciones anteriores, en el que el material de almacenamiento de hidrógeno está constituido por al menos un material del tipo A_mB_n constituido por un elemento A que forma un hidruro estable tal como los metales alcalinos o alcalinotérreos tales como el litio, el calcio o el magnesio, los metales de transición de la cuarta o la quinta columna tales como el circonio, el titanio, o las tierras raras metálicas tales como el lantano, el cerio, y por un elemento B que forma un hidruro inestable en las condiciones estándar, tales como la mayor parte de los metales de transición tales como el cromo, el cobalto, el níquel o el hierro.
15. Procedimiento de realización de un depósito según una de las reivindicaciones 1 a 14, que comprende las

etapas de:

- a) realizar canales (10) que tienen una sección transversal idéntica a las de los compartimentos (8),
 - 5 b) fijar tabiques (18) transversales en los canales que delimitan los compartimentos,
 - c) solidarizar una placa (P) con dichos canales (10),
 - 10 d) colocar material (6) de almacenamiento de hidrógeno individualmente en cada compartimento (8),
 - e) repetir las etapas a), b), etc.) hasta obtener el número de subconjuntos (28, 30) requeridos,
 - f) apilar dichos subconjuntos (28, 30),
 - 15 g) colocar el apilamiento en un recinto,
 - h) alimentar con hidrógeno.
16. Procedimiento de realización de un depósito según la reivindicación 15, en el que los canales (10) se realizan
20 mediante plegado de una chapa.
17. Procedimiento de realización de un depósito según la reivindicación 15 ó 16, en el que la etapa c) tiene lugar
antes que la etapa b) y en el que la placa (P) obtura de manera estanca los canales (10), formando una tapa.
- 25 18. Procedimiento de realización de un depósito según la reivindicación 15 ó 16, en el que durante la etapa b), se
solidariza la placa (P) con los fondos de los canales (10), formando la tapa del piso inferior.





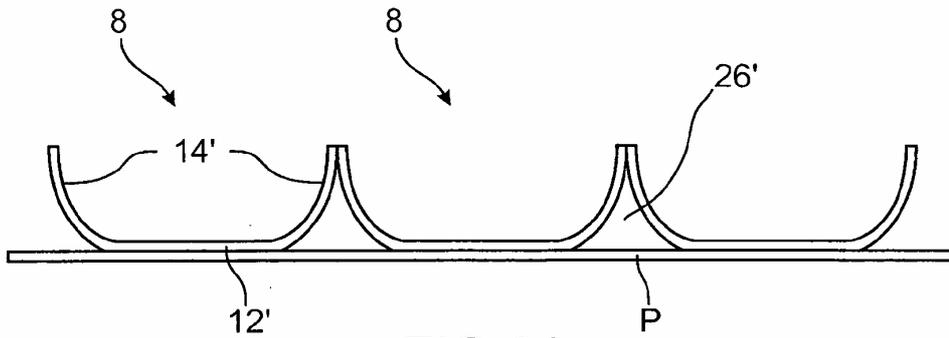


FIG. 6A

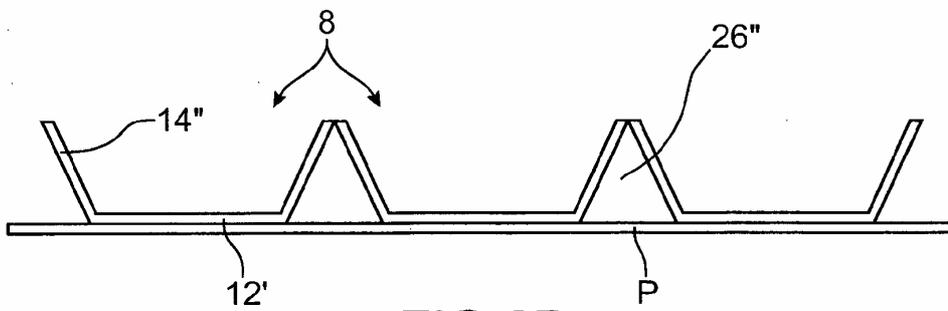


FIG. 6B

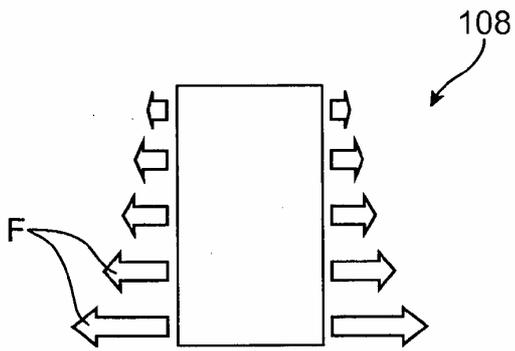


FIG. 7A

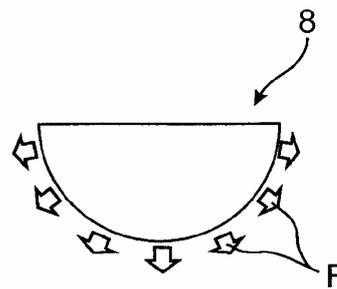


FIG. 7B