

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 893 101**

51 Int. Cl.:

**F17C 1/00** (2006.01)  
**F04B 39/00** (2006.01)  
**F04B 39/06** (2006.01)  
**F04B 41/02** (2006.01)  
**F04B 43/02** (2006.01)  
**F02C 6/16** (2006.01)

12

## TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **25.11.2016** **PCT/CA2016/051395**

87 Fecha y número de publicación internacional: **01.06.2017** **WO17088065**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **25.11.2016** **E 16867495 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **14.07.2021** **EP 3380774**

54 Título: **Recipiente de presión variable**

30 Prioridad:

**25.11.2015 US 201562260240 P**  
**03.01.2016 US 201662274350 P**  
**06.03.2016 US 201662304297 P**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**08.02.2022**

73 Titular/es:

**ISOCURRENT ENERGY INCORPORATED**  
**(100.0%)**  
**293 Lee Avenue**  
**Toronto, ON M4E 2P6, CA**

72 Inventor/es:

**KARAMANEV, DIMITRE**

74 Agente/Representante:

**TOMAS GIL, Tesifonte Enrique**

ES 2 893 101 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

Recipiente de presión variable

5 Campo de la invención

[0001] La presente invención se refiere a recipientes de presión variable y, en particular, a recipientes de presión variable que pueden utilizarse en sistemas de almacenamiento de energía.

10 Antecedentes

[0002] La compresión de gases es un proceso muy importante en muchas tecnologías. Al comprimir o reducir el volumen de un gas ideal o casi ideal, se produce calor además de un aumento de la presión del gas. Cuando el calor que se ha producido debido a la compresión del gas se elimina del gas que se comprime mediante, por ejemplo, un intercambio de calor con el entorno, el proceso es isotérmico.

[0003] La expansión de un gas es un proceso opuesto al proceso de compresión. Durante la expansión, la presión del gas disminuye y el gas en expansión consume calor. Para lograr condiciones isotérmicas, la cantidad de calor consumida por el gas en expansión se suministra, por ejemplo, mediante la transferencia de calor desde el entorno al gas en expansión.

[0004] La compresión/expansión de gas se suele utilizar para el almacenamiento de energía en sistemas de almacenamiento de energía de aire comprimido (CAES), el régimen isotérmico permite minimizar la pérdida de energía, y por lo tanto, maximiza la eficiencia global de almacenamiento.

[0005] La compresión/expansión isotérmica real o teórica resulta difícil si no imposible en la práctica actual. Para lograr una compresión/expansión isotérmica real o teórica se requiere una diferencia de temperatura cero entre el gas comprimido/expandido y el entorno. Esto requiere una zona de transferencia de calor infinita, o un tiempo de transferencia de calor infinito o ambos. Los procesos reales de compresión/expansión pueden acercarse a la compresión/expansión isotérmica teórica en diversos grados. El término *compresión pseudo isotérmica* se utiliza en este documento para describir una compresión que está entre la isentrópica y la verdaderamente isotérmica. En la *compresión pseudo isotérmica* se elimina parte del calor del gas comprimido, pero en menor cantidad que la cantidad de calor que se tiene que eliminar para una compresión realmente isotérmica.

[0006] Recientemente, se ha descrito un proceso y un aparato para la compresión y expansión pseudo isotérmica de un gas en las solicitudes PCT PCT/CA2013/050972 y PCT/CA2015/050137. Las referencias del estado de la técnica anterior muestran procesos de compresión y expansión que se basan en el uso de un líquido, que se bombea a un dispositivo de compresión de gas/líquido y se empuja desde un dispositivo de expansión gas/líquido. El líquido desempeña el papel de "pistón líquido". En las referencias del estado de la técnica anterior, el líquido y el gas comprimidos/expandidos están en contacto directo, es decir, hay una interfaz gas-líquido. En estas descripciones, el calor se transfiere desde el gas de compresión al entorno mediante uno o cualquier combinación de los siguientes mecanismos. El calor se transfiere directamente desde el gas de compresión a través de las paredes del dispositivo de compresión al entorno. El calor se transfiere indirectamente primero del gas al pistón líquido a través de su interfaz y después del líquido al entorno. El calor se transfiere indirectamente primero desde el gas a un disipador de calor sólido, a continuación desde el disipador de calor sólido al líquido, y por último desde el líquido al entorno. Además, los mecanismos de transferencia de calor son los mismos durante la expansión, pero el calor se desplaza en la dirección opuesta (desde el entorno hacia el gas de expansión).

[0007] Como se ha indicado anteriormente, en las referencias del estado de la técnica anterior se produce un contacto directo gas-líquido. La existencia de una superficie líquida, en contacto con el gas, genera varios problemas. Algunos de estos problemas figuran enumerados a continuación. La disolución del gas en el líquido (durante el aumento de la presión del gas), seguida de una liberación del gas disuelto del líquido y de la formación de burbujas de gas (durante la disminución de la presión del gas), da lugar a una disminución de cada una de las eficiencias de compresión y expansión. La pérdida de parte del líquido (formando el pistón líquido) del dispositivo de compresión/expansión junto con el gas que sale del dispositivo de compresión/expansión debido al (pero no limitado a) movimiento del líquido en el recipiente de compresión/expansión cuando se forman ondas y otros tipos de movimiento de la superficie líquida; y la formación de espuma del líquido. Esto da lugar a la disminución de la eficiencia de la compresión/expansión, y también a la pérdida de líquido del dispositivo de compresión/expansión, cuando una parte del líquido es expulsada del dispositivo de compresión/expansión junto con el gas comprimido o expandido. La formación de espuma puede ser el resultado de dos procesos principales: el arrastre de burbujas de gas en el líquido a través de la interfaz gas-líquido; y la formación de burbujas de gas cuando el gas disuelto se libera

del líquido debido a la disminución de la presión y/o al aumento de la temperatura. Este proceso es similar al de la formación de burbujas de gas (dióxido de carbono) en una bebida carbonatada cuando se abre una botella y se reduce la presión sobre la bebida.

[0008] El documento GB 804 500 describe un contenedor de almacenamiento aislado térmicamente para gases licuados. El contenedor está dividido en dos compartimentos por un diafragma flexible. Uno de los compartimentos contiene el gas licuado y el otro contiene un gas de presurización. El contenedor está aislado térmicamente y el diafragma está hecho de un material que es a la vez flexible e impermeable al líquido y al gas de presurización a la baja temperatura de almacenamiento del gas licuado. La transferencia de calor entre el gas de compresión y el entorno es extremadamente baja.

[0009] El documento US 2,317,395 describe un acumulador de líquido a presión. El acumulador tiene un contenedor rígido para el líquido y una bolsa elástica, deformable y flexible llena de gas a presión. La bolsa está fijada a la pared interna del contenedor y actúa como un separador entre el líquido del contenedor and el colchón de gas prisionero en la bolsa que sirve para mantener el líquido a presión. El objetivo consiste en proporcionar medios para guiar los desplazamientos de un extremo de la bolsa con respecto al contenedor, mediante dos elementos, uno rígido con el contenedor y el otro transportado por la bolsa, montados de forma deslizante el uno sobre el otro. La transferencia de calor entre el gas de compresión y el entorno es extremadamente baja.

[0010] El documento US 2010/329903 describe un sistema de almacenamiento de energía de aire comprimido que forma un sistema de presión variable según el preámbulo de la reivindicación 1. El sistema incluye un mecanismo reversible para comprimir y expandir el aire, uno o varios tanques de almacenamiento de aire comprimido, un sistema de control, uno o varios intercambiadores de calor y un motor-generador. El compresor-expansor de aire reversible utiliza energía mecánica para comprimir el aire (cuando actúa como compresor) y convierte la energía almacenada en el aire comprimido en energía mecánica (cuando actúa como expansor). El compresor-expansor comprende una o varias etapas, constando cada etapa de un recipiente de presión parcialmente lleno de agua u otro líquido. La transferencia de calor entre el gas de compresión y el fluido de transferencia de calor es bastante alta. Sin embargo, el contacto directo entre el gas de compresión/expansión y el fluido de transferencia de calor da lugar a una disolución significativa del gas en el líquido, lo que reduce en gran medida la eficiencia del proceso de compresión/expansión.

[0011] Teniendo en cuenta el estado de la técnica actual mencionado anteriormente, resultaría ventajoso proporcionar un recipiente de presión variable que proporcione un mecanismo de transferencia de calor perfeccionado, y al mismo tiempo elimine la disolución del gas comprimiéndose/expandándose en el líquido.

## Resumen

[0012] La presente invención se refiere a un recipiente de presión variable. El recipiente incluye una cámara de líquido y una cámara de gas y una barrera móvil entre ambas. El recipiente tiene un volumen, una primera carrera y una segunda carrera. La cámara de líquido y la cámara de gas tienen cada una un volumen variable que cambia en función de la primera carrera y la segunda carrera. La cámara de gas tiene una pared externa en la que al menos una parte de la pared externa es conductora térmica y permite que el calor se transfiera a través de ella. El movimiento de la barrera móvil entre la cámara de líquido y la cámara de gas provoca que el volumen de la cámara de líquido y el volumen de la cámara de gas se desplacen mutuamente. El volumen de la cámara de gas más el volumen de la cámara de líquido es generalmente constante y es generalmente igual al volumen del recipiente de presión variable.

[0013] La cámara de gas puede estar definida por una placa y la barrera móvil.

[0014] La cámara de aire puede estar definida por un tubo interno y una vejiga externa flexible, y la vejiga externa flexible es la barrera móvil. La barrera móvil puede ser un fuelle.

[0015] El recipiente de presión puede estar definido por paredes, la cámara de gas puede estar definida al menos en parte por la barrera móvil y la cámara de líquido puede ser el volumen entre la cámara de gas y las paredes del recipiente de presión.

[0016] La cámara de gas puede estar definida por un tubo cilíndrico hueco interno y una barrera móvil. La barrera móvil puede estar en el exterior del tubo cilíndrico hueco interno. La barrera móvil puede estar en el interior del tubo cilíndrico hueco interno.

[0017] El tubo cilíndrico hueco interno define un volumen interno y el volumen interno puede estar en comunicación

de flujo con la cámara de líquido y forma parte de la cámara de líquido.

[0018] El tubo cilíndrico hueco interno define un volumen interno y el volumen interno puede estar en comunicación de flujo con una entrada y una salida que pueden ser externas al recipiente de presión. El volumen interno del tubo cilíndrico hueco interno puede estar lleno de fluido de transferencia de calor.

[0019] El recipiente de presión variable puede ser un recipiente generalmente cilíndrico. El recipiente de presión puede estar definido por paredes, la cámara de gas puede estar definida al menos en parte por la barrera móvil y la cámara de gas puede ser el volumen entre la cámara de líquido y las paredes del recipiente de presión.

[0020] El recipiente de presión variable puede ser un recipiente generalmente cilíndrico y la barrera móvil puede ser una vejiga generalmente tubular fijada en cada extremo del mismo y la cámara de gas puede estar definida por la vejiga generalmente tubular y el recipiente generalmente cilíndrico.

[0021] La cámara de líquido y la cámara de gas tienen una interfaz entre ellas y se puede calcular el valor del coeficiente de transferencia de calor de la interfaz

$$K = [p_1 V_1 A \Delta T / (t_{\text{stroke}} A \Delta T)] \ln(p_1/p_2)$$

y en el proceso de compresión del gas  $p_1$  es la presión inicial del gas,  $p_2$  es la presión final del gas tras la compresión,  $A$  es la superficie de la transferencia de calor,  $\Delta T$  es la diferencia entre la temperatura inicial y la final,  $t_{\text{stroke}}$  es el tiempo de la carrera de compresión,  $V_1$  es el volumen del gas al inicio de la carrera de compresión,  $\delta$  es el espesor de la pared, y en el proceso de expansión del gas  $V_1$  es el volumen del gas al final del ciclo de expansión,  $p_1$  es la presión del gas al principio de la expansión del gas,  $p_2$  es la presión final del gas al final de la expansión y el coeficiente de transferencia de calor del material para la interfaz es mayor o igual al valor de  $K$  calculado.

[0022] En el transcurso de la siguiente descripción detallada se describirán o se volverán evidentes características adicionales.

Breve descripción de los dibujos

[0023] Las formas de realización se describirán ahora sólo a modo de ejemplo, en referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

La figura 1 es un diagrama esquemático de un recipiente de presión variable que muestra el gas dentro de un recinto de volumen variable y el líquido fuera del recinto de volumen variable y fijado a una bomba;

La figura 2 es un diagrama esquemático de un recipiente de presión variable similar al que se muestra en la figura 1, pero que muestra el líquido dentro de un recinto de volumen variable y el gas fuera del recinto de volumen variable;

La figura 3 es un diagrama esquemático de un recipiente de presión variable similar al que se muestra en la figura 1, pero que muestra el recinto de volumen variable como un fuelle;

La figura 4 es un diagrama esquemático del fuelle similar al que se muestra en la figura 3, pero que muestra el fuelle completamente apretado y un elemento en la parte central del fuelle;

La figura 5 es un diagrama esquemático similar al que se muestra en la figura 1, pero que muestra una pluralidad de recintos de volumen variable en conexión de flujo;

La figura 6 es un diagrama esquemático similar al que se muestra en la figura 1, pero que muestra una forma de realización alternativa al recinto de volumen variable que es un tubo flexible alargado;

La figura 7 es un diagrama esquemático similar al que se muestra en la figura 1, pero que muestra el recinto de volumen variable como una placa termoconductora y una vejiga flexible, y que muestra la bomba en una carrera de compresión;

La figura 8 es un diagrama esquemático similar al mostrado en la figura 7, pero mostrando la bomba generalmente comprimida por completo;

La figura 9 es un diagrama esquemático similar al que se muestra en las figuras 7 y 8, pero que muestra la bomba en una carrera de expansión;

La figura 10 es un diagrama esquemático similar al que se muestra en la figura 6, pero que muestra un tubo hueco interno y un manguito externo y el tubo interno está lleno de fluido de transferencia de calor y está en comunicación de flujo con una entrada y una salida externas al recipiente de presión variable;

La figura 11 es un diagrama esquemático similar al que se muestra en la figura 10, pero que muestra el tubo interno en comunicación de flujo con el líquido;

La figura 12 es un diagrama esquemático similar al que se muestra en la figura 11, pero que incluye además una conexión con la bomba de manera que el líquido de la bomba esté en comunicación de flujo directa con el tubo interno;

La figura 13 es un diagrama esquemático similar al que se muestra en la figura 12, pero que incluye además una camisa de fluido para el recipiente de presión variable;

La figura 14 es un diagrama esquemático similar al que se muestra en la figura 12, pero que incluye además aletas de calentamiento y enfriamiento;

La figura 15 es un diagrama esquemático similar al que se muestra en la figura 12, pero que incluye además una salida de líquido;

La figura 16 es un diagrama esquemático similar al que se muestra en la figura 10 pero que muestra un tubo hueco externo y un manguito interno;

La figura 17 es un diagrama esquemático similar al que se muestra en la figura 1 pero que muestra el recinto de volumen variable lleno de aire definido por una barrera flexible y las paredes del recipiente de presión variable.

#### Descripción detallada

[0024] Cuando un gas se comprime (es decir, su volumen disminuye), la presión del gas aumenta y se produce calor. Cuando un gas se expande (es decir, su volumen aumenta), la presión del gas disminuye al tiempo que el gas consume calor. Una de las formas de comprimir y expandir gases con una eficiencia teórica del 100% consiste en comprimir y expandir el gas isotérmicamente. En la compresión y expansión isotérmica, el calor producido durante la compresión y el calor consumido por el gas durante la expansión se transfiere completa y simultáneamente al entorno (durante la compresión) y desde el entorno (durante la expansión). Por lo tanto, durante la compresión o la expansión isotérmica, la temperatura del gas de compresión o expansión permanece constante durante el proceso de compresión o expansión.

[0025] La presente invención tiene por objeto reducir los efectos negativos del contacto directo del gas comprimido/expandido con el líquido (del pistón líquido) utilizado para comprimir o expandir el gas.

[0026] La presente invención se basa en el uso de un recinto o recipiente, de volumen variable, que separa el líquido de compresión/expansión (el pistón líquido) del gas que se comprime o expande. Las paredes (y además posiblemente algunos elementos de relleno y/o aletas internas y/o externas) del recinto de volumen variable (plegable) se utilizan para la transferencia de calor entre el gas de compresión o expansión y el líquido del pistón líquido.

[0027] En referencia a la figura 1, se muestra generalmente un recipiente de presión variable 10. El recipiente de compresión variable 10 se utiliza para la compresión y/o expansión. El recipiente de presión variable incluye una cámara de líquido 12 y una cámara de gas 14. La cámara de líquido 12 está en comunicación de flujo con un cilindro hidráulico 16 u otro tipo de dispositivo de bombeo. Hay una barrera móvil entre la cámara de líquido 12 y la cámara de gas 14. El recipiente de presión variable 10 puede tener varias configuraciones diferentes. El recipiente de presión variable 10 tiene una primera carrera y una segunda carrera. Durante la primera carrera se extrae líquido de la cámara de líquido 12 y se introduce aire en la cámara de aire o la cámara de gas 14. Durante la segunda carrera el aire se empuja fuera de la cámara de aire 14 hacia un tanque receptor 18. Los expertos en la técnica apreciarán que el proceso descrito en el presente documento es un proceso de dos carreras, donde una carrera es una carrera de compresión y la otra es una carrera de expansión. A continuación se utilizarán los términos genéricos de primera y segunda carrera y los más específicos de carrera de compresión y expansión en función del contexto.

[0028] En la configuración que se muestra en la figura 1, un recinto flexible (volumen variable) 20 está rodeado por un líquido (el pistón líquido) en la cámara de líquido 12. El recinto flexible 20 es la barrera móvil entre la cámara de líquido 12 y la cámara de gas 14. El recinto flexible 20 puede ser una bolsa de plástico o cualquier otro tipo de bolsa de polímero. El recinto flexible 20 debe ser químicamente estable con respecto al gas y al líquido y debe ser lo suficientemente flexible como para que al apretarlo la mayor parte del aire pueda ser expulsada o evacuada. El recinto flexible 20 define la cámara de aire 14. La cámara de líquido 12 es el volumen entre las paredes 27 del recipiente de presión variable 10 y el recinto flexible 20. En el proceso de compresión de gas, durante la primera carrera, cuando el líquido se está retrayendo de la cámara de líquido 12 en el recipiente de presión variable 10 a través de la conexión 22, el recinto flexible 20 que es la cámara de gas 14 se llena con un gas a baja presión a través de una válvula 24 (que puede ser una válvula de retención).

[0029] Cuando el recipiente de presión variable 10 se utiliza para la expansión del gas, se introduce cierta cantidad de gas comprimido en la cámara de aire y la cámara de aire, debido a su expansión, desplaza el líquido de la cámara de líquido 12. El líquido que sale de la cámara de líquido 12 se utiliza para generar energía mecánica en una unidad separada, recíproca (por ejemplo, un cilindro hidráulico) 16 o rotativa (por ejemplo, un motor de líquido) (no mostrada).

[0030] El calor generado por el gas de compresión durante la compresión y consumido por el gas de expansión durante la expansión se transfiere al/del líquido en la cámara de líquido 12 o al entorno fuera del recipiente de compresión variable 10.

[0031] En el caso de la compresión de gas, durante la primera carrera, la válvula 26, que está entre el tanque receptor 18 y la cámara de gas 14, está cerrada mientras que la válvula 24 está abierta. En la siguiente etapa o segunda carrera el líquido es empujado de vuelta a la cámara de líquido 12 del recipiente de presión variable 10 a través de la conexión 22, aumentando así la presión del gas dentro de la cámara de aire 14. Cuando la presión en la cámara de aire 14 se aproxima a la presión en el tanque de gas receptor 18, la válvula 26 (que puede ser una válvula de retención) se abre y el gas comprimido llena el tanque 18. Durante esa carrera, la válvula 24 está cerrada. A continuación, se repite el proceso de compresión de gas empezando la etapa uno o la primera carrera, y continuando con la etapa dos o la segunda carrera.

[0032] El cilindro hidráulico 16 incluye un pistón alternativo 28 que se mueve hacia dentro y hacia fuera. El cilindro hidráulico 16 u otro tipo de dispositivo de bombeo se utiliza para bombear el líquido en la cámara de líquido 12 del recipiente de presión variable 10 a través de la conexión 22 durante la carrera de compresión y para recibir el líquido de la cámara de líquido 12 durante la carrera de retracción.

[0033] El proceso de expansión de gas es similar al proceso de compresión de gas. Durante el proceso de expansión, en la primera etapa o primera carrera se introduce cierta cantidad de gas comprimido desde el tanque de gas comprimido 18 se introduce en el recinto flexible 20 a través de la válvula 26. En ese momento la válvula 24 se cierra. A modo de ejemplo, el volumen de gas comprimido introducido en el recinto de volumen variable 20 (la bolsa) puede elegirse de manera que la presión en el recinto de volumen variable 20 alcance casi la presión final deseada al final de la carrera de expansión. El aire comprimido empuja el líquido fuera de la cámara de líquido 12, generando así una energía mecánica del líquido que fluye fuera de la conexión 22 y dentro del cilindro hidráulico 16. En la segunda etapa o segunda carrera, el líquido se bombea en la cámara de líquido 14 a través de la conexión 22, empujando hacia fuera el gas expandido a través de la válvula 24; la válvula 26 se cierra. A continuación se repiten la primera y la segunda carrera. De este modo, el recipiente de presión variable descrito en este documento se puede utilizar en un sistema de almacenamiento de energía.

[0034] La figura 2 es similar a la que se muestra en la figura 1, pero el recinto flexible 20 es la cámara de líquido 12 y la cámara de aire 14 está definida por el volumen entre el recinto flexible 20 y las paredes 27 del recipiente de presión variable 10. Las etapas o carreras son las mismas que las descritas anteriormente en relación con la figura 1. En el caso de la compresión de gas, al final de la carrera de compresión (etapa 1), la mayor parte o la totalidad del gas que está fuera del recinto flexible 20 es empujada hacia el tanque o recipiente receptor 18, por lo que casi no queda gas en la cámara de aire 14 fuera del recinto flexible 20.

[0035] Preferiblemente, la interfaz entre la cámara de aire 14 y la cámara de líquido 12 tiene una gran superficie y el material o materiales de la interfaz tienen una alta conductividad térmica. La gran superficie y la alta conductividad térmica facilitan la transferencia de calor a través de las paredes del recinto. La superficie de la interfaz se puede aumentar de diferentes maneras, algunas de las cuales se muestran en las figuras 3 a 6 y son sólo a modo de ejemplo. Otras posibles interfaces se muestran en las figuras 7 a 17 y sólo a modo de ejemplo.

[0036] La figura 3 muestra una forma de realización en la que el recinto 30 tiene forma de fuelle. El fuelle 30 está diseñado de manera que, al final del ciclo de compresión (o al principio del ciclo de expansión), el volumen de gas dentro del fuelle sea mínimo. En la figura 4 se muestra un ejemplo de dicho diseño. En esta forma de realización un elemento 32 ocupa el volumen en la parte central del fuelle completamente apretado 30, reduciendo así la cantidad de gas restante en el fuelle 30 tanto al final del ciclo de compresión como al principio del ciclo de expansión.

[0037] La figura 5 muestra el recinto en forma de pluralidad de bolsas flexibles 34 interconectadas en paralelo entre sí. Como se puede observar, la ventaja de esta forma de realización es que aumenta la superficie. El aumento de la superficie puede proporcionar una mejor transferencia de calor. Sin embargo, el inconveniente de esta forma de realización es que resulta más difícil evacuar completamente el aire de la cámara de aire 14.

[0038] La figura 6 muestra una forma de realización en la que el recinto es un tubo largo y flexible en forma de serpiente 36, colocado en el recipiente de presión variable 10 de forma similar a la de los intestinos del estómago de un animal. La superficie del tubo 36 puede ser lisa o no. Como se ha mencionado anteriormente, una de las condiciones más importantes para el diseño del recinto es la completa o casi completa eliminación del gas al final del ciclo de compresión o al principio del ciclo de expansión.

[0039] Como se ha mencionado anteriormente, las solicitudes de patente PCT/CA2013/050972 y

PCT/CA2015/050137 del estado de la técnica anterior describen sistemas de almacenamiento de energía de aire comprimido, basados en la compresión del aire por el fluido hidráulico que se desplaza desde una bomba o un cilindro hidráulico al recipiente de compresión. Los expertos en la técnica apreciarán que se puede utilizar el mismo sistema también para la expansión del gas (aire) cuando el gas comprimido inyectado en la unidad de expansión, se expande y desplaza el líquido hidráulico desde la unidad de expansión al cilindro o cilindros hidráulicos. El estado de la técnica anterior describe un convertidor mecánico del movimiento de rotación del motor/generador eléctrico en movimiento alternativo del cilindro hidráulico. Alternativamente, el motor/generador rotativo y el convertidor pueden sustituirse por un motor eléctrico lineal, que acciona el cilindro hidráulico. Uno de los elementos más importantes del sistema de compresión/expansión es la unidad para la compresión/expansión simultánea y la transferencia de calor o el recipiente de compresión. Estas dos solicitudes PCT describen un recipiente de compresión o expansión de pistón líquido multifásico que se puede utilizar en la presente solicitud. Además, estas dos solicitudes PCT describen un cilindro hidráulico combinado y un recipiente de compresión/expansión, ambos incluidos en un único recipiente cilíndrico. Esta característica se puede utilizar igualmente en la presente solicitud.

[0040] En las figuras 7 a 9 se muestra una forma de realización alternativa de un recipiente de compresión variable 10. En las figuras 7 a 9 se muestran las distintas etapas del ciclo de compresión/expansión.

[0041] Una propiedad importante del recinto flexible 20 es su flexibilidad, en la forma de realización que se muestra en las figuras 1 a 6, el recinto flexible 20, la bolsa flexible 34, el fuelle flexible 30 y el tubo flexible 36 pueden estar hechos de plástico o caucho. El valor del coeficiente de transferencia de calor de la pared que separa las cámaras de gas y líquido, se puede calcular aproximadamente en base a:

$$K = [p_1 V_1 A \Delta T / \delta t_{\text{stroke}}] \ln(p_1/p_2) \quad (1)$$

Donde en el proceso de compresión de gas  $p_1$  es la presión inicial del gas,  $p_2$  es la presión final del gas tras la compresión,  $A$  es la superficie de la transferencia de calor,  $\Delta T$  es la diferencia entre la temperatura inicial y la final,  $t_{\text{stroke}}$  es el tiempo de la carrera de compresión,  $V_1$  es el volumen del gas al inicio de la carrera de compresión,  $\delta$  es el espesor de la pared.

En el proceso de expansión del gas  $V_1$  es volumen del gas al final del ciclo de expansión,  $p_1$  es la presión del gas al principio de la expansión del gas,  $p_2$  es la presión final del gas al final de la expansión. El resto de los símbolos son los mismos que en el proceso de compresión. El valor absoluto de la constante  $K$  para el material de la barrera debe ser mayor o igual al valor de  $K$  calculado.

[0042] Los expertos en la técnica apreciarán que para materiales como los polímeros que tienen un bajo coeficiente de transferencia de calor utilizando un espesor de pared  $\delta$  muy pequeño se puede obtener una buena transferencia de calor a través de la barrera móvil. Alternativamente para los materiales como el metal, las aleaciones de metal o los compuestos de metal o carbono se puede utilizar un espesor de pared  $\delta$  mayor.

[0043] Los expertos en la técnica apreciarán que los materiales poliméricos tienen una menor conductividad térmica que otros materiales. Por lo general, los materiales que tienen una mayor conductividad térmica, como los metales, los compuestos de metal o carbono o las aleaciones de metal son menos flexibles. Por consiguiente, un recinto flexible que utiliza ambos materiales puede resultar óptimo. Las figuras 7 a 17 muestran formas de realización en las que al menos una parte de la interfaz entre el gas y el líquido o entre el gas y el entorno está hecha de una sustancia con alta conductividad térmica. La sustancia de alta conductividad térmica puede ser un metal u otra sustancia con alta conductividad térmica.

[0044] Las figuras 7 a 9 muestran un ejemplo de dicha solución, donde la cámara de gas 14 y la de líquido 12 están separadas por un separador de dos piezas, que consiste en una vejiga flexible 40 que suele tener una menor conductividad térmica y una pared poco flexible, pero con alta conductividad térmica 42. La vejiga 40 y la pared 42 están conectadas por una conexión estanca al gas 44.

[0045] Las figuras 7 a 9 muestran las distintas etapas de la compresión de gas. La figura 7 muestra específicamente la etapa de compresión del gas. La válvula de retención 46 está cerrada en esta etapa. Al comienzo de la primera etapa, la válvula de retención 48 también está cerrada. El pistón 28 del cilindro hidráulico 16 se retrae (se mueve hacia la izquierda en la imagen). Esto hace que el fluido hidráulico (líquido) en el cilindro 16 se mueva hacia el recipiente de compresión variable 10 (el movimiento del fluido se muestra con la flecha 50). El aumento del volumen de líquido en la cámara de líquido 12 provoca una contracción de la vejiga 40, dando lugar a la compresión del gas en la cámara de gas 14. Una vez que la presión del gas se aproxima a la presión en el recipiente de almacenamiento de aire comprimido, la válvula de retención 48 se abre, permitiendo que el aire comprimido entre en el recipiente 18 (mostrado por la flecha 52). El volumen total de líquido se elige de manera que la vejiga 40 se contraiga casi por completo (expulse casi todo el gas en el recipiente 18) en el momento en el que el pistón 28 esté totalmente retraído.

Ese punto (retracción completa del pistón) se muestra en la figura 8.

[0046] Una vez que el pistón 28 está completamente retraído (alcanza su límite izquierdo mostrado en la figura 8), casi todo el gas se transfiere al recipiente 18, y la válvula de retención 48 se cierra. Después de este punto, el pistón 28 invierte su dirección de movimiento y empieza a extenderse (moviéndose hacia la derecha) como se muestra en la figura 9. En ese momento, la válvula de retención 46 se abre; la válvula de retención 48 se cierra. El volumen de líquido que sale de la cámara de líquido 12 (siguiendo la flecha 54), se sustituye por un gas fresco, que entra en la vejiga 40 a través de la válvula de retención 46. El proceso de entrada de gas fresco continúa hasta que el pistón 28 alcanza su máxima extensión (el límite del lado derecho). Después, el pistón empieza a retraerse de nuevo y el ciclo de compresión se repite de nuevo volviendo a la primera etapa (representada por la figura 7).

[0047] Los expertos en la técnica apreciarán que las válvulas de retención 48 y 46 son sólo un ejemplo y que también se pueden utilizar otras válvulas como las electroválvulas.

[0048] La expansión de gas puede realizarse utilizando la misma unidad mostrada en las figuras 7 a 9. Sin embargo, las válvulas 48 y 46 durante la expansión no son válvulas de retención, sino válvulas controlables como las electroválvulas. La primera etapa o expansión es la adición de una cierta cantidad de gas comprimido desde el recipiente de almacenamiento de gas comprimido 18 a la vejiga 40. Justo al comienzo de la retracción del pistón 28 (figura 9), la válvula 48 se abre durante un periodo de tiempo tal que una cantidad predeterminada de gas comprimido entre en la vejiga 40. La cantidad de gas comprimido se describe en los documentos PCT/CA2013/050972 y PCT/CA2015/050137. El gas comprimido empuja el líquido de la cámara de líquido 12 hacia el cilindro 16 (flecha 56), moviendo así (extendiendo) el pistón 28, creando un movimiento mecánico. Una vez que el pistón está completamente extendido, comienza a retraerse (figura 7). Al principio de la retracción, la válvula 46 se abre y el gas expandido es empujado fuera de la vejiga 40. La válvula 46 permanece abierta y la válvula 48 permanece cerrada durante todo el ciclo de retracción del pistón 28 (hasta que alcanza su límite izquierdo). A continuación, el ciclo de expansión se repite con el pistón empezando a extenderse y la válvula 46 abriéndose brevemente para añadir una cierta cantidad de gas comprimido a la vejiga, como se ha descrito anteriormente.

[0049] En la figura 10 se muestra una forma de realización alternativa de un recipiente de compresión variable 10. En este caso, el material conductor del calor tiene forma de tubo 60 con sección transversal circular, rectangular o de otro tipo. El tubo 60 está rodeado por un manguito de la vejiga flexible 62. El tubo y la vejiga están conectados de forma estanca al gas mediante las conexiones 64. Las tres etapas de compresión de gas que se han explicado anteriormente con referencia a las figuras 7 a 9 son similares aquí. El calor se transfiere entre el gas que se comprime (o expande) y el fluido 66 en el volumen interior del tubo 60 a través de las paredes del tubo 60. El fluido 66 puede ser gas o líquido. El volumen interno del tubo 60 está separado del líquido en la cámara de líquido 12. El fluido de transferencia de calor 66 entra por la conexión 68 y sale por la conexión 70. El proceso de expansión, realizado en la unidad que se muestra en la figura 10, sigue las etapas descritas anteriormente.

[0050] La figura 11 muestra una modificación del recipiente de compresión variable mostrado en la figura 10. En la figura 11 ambos extremos del tubo interno de transferencia de calor 60 están abiertos, y el tubo 60 se llena con el líquido de la cámara de líquido 12. Por lo tanto, el calor se transfiere entre el gas de la cámara de gas 14 y el líquido de la cámara de líquido 12.

[0051] La figura 12 muestra otra modificación del recipiente de compresión variable mostrado en la figura 11. En esta forma de realización, el cilindro hidráulico 16 está conectado al tubo interno 60 con el conector 72. El líquido en el tubo interno 60 está entonces en comunicación de flujo con el líquido en la cámara de líquido 12. Esta forma de realización proporcionará características de transferencia de calor diferentes a las de las formas de realización que se muestran en las figuras 10 y 11.

[0052] Como se ha mencionado anteriormente, dado que el líquido se calienta (durante la compresión) o se enfría (durante la expansión), se elimina calor (durante la compresión) o se añade (durante la expansión). Lo ideal es mantener una temperatura en general constante del líquido en la cámara de líquido 12 tanto durante la compresión como durante la expansión. Como se ha mencionado anteriormente, se producirá transferencia de calor entre el gas de la cámara de gas 14 y el líquido de la cámara de líquido 12. También se producirá transferencia de calor entre el líquido and/o el gas en el recipiente de compresión variable 10 a través de su pared 27 a la atmósfera. Las figuras 13 y 14 muestran dos posibles formas de mejorar la transferencia de calor a través de las paredes 27. La figura 13 muestra la eliminación o adición de calor desde/hacia el líquido en la cámara de líquido 12 a través de las paredes 27 del recipiente de presión variable 10 mediante el uso de una camisa 74, enfriada o calentada por un fluido 76. La figura 14 muestra una forma de realización donde las 27 del recipiente de presión variable 10 contiene aletas 78 o elementos similares que facilitan una mejor transferencia de calor hacia/desde la atmósfera circundante.

[0053] La figura 15 muestra una forma de realización donde el líquido de la cámara de líquido 12 se retira/añade periódicamente a/desde el puerto 80 dirigido a una unidad de transferencia de calor externa (no mostrada). La cantidad de líquido retirado y añadido a través del puerto 80 debe ser la misma en general. Es preferible añadir/retirar líquido a través del puerto 80 durante la extensión del pistón (cuando la unidad se utiliza para la compresión de gas) o durante la retracción (cuando la unidad se utiliza para la expansión de gas), cuando la presión del líquido en la cámara de líquido 12 es baja.

[0054] Otra forma de realización de la combinación de la vejiga flexible 82 y el tubo o elemento de transferencia de calor 84 se muestra en la figura 16. El tubo 84 se utiliza como elemento de transferencia de calor como en las formas de realización de las figuras 10 a 15. El calor también se transfiere entre el gas de la cámara de gas 14 y el líquido de la cámara de líquido 12. Sin embargo, la vejiga flexible 82 en forma de tubo flexible está situada dentro del tubo de transferencia de calor 84. La vejiga 82 y el tubo de transferencia de calor 84 están conectados de forma estanca al gas a través de las conexiones 86.

[0055] Los expertos en la técnica apreciarán que la cámara de aire 14 puede tener cualquier forma. La cámara de aire 14 soporta una presión superior a la presión más alta del gas de compresión (durante la compresión), o superior a la presión inicial del gas de expansión (durante la expansión).

[0056] En las formas de realización que se muestran en la figura 17, la cámara de gas 14 está definida por una vejiga flexible 90 y las paredes 27 del recipiente de compresión variable 10. La vejiga 90 se utiliza para separar el gas de compresión/expansión de la cámara de gas 14 del líquido hidráulico de la cámara de líquido 12. La vejiga 90 está unida a la pared interna 27 del recipiente de compresión variable 10 por medio de las fijaciones 92. Las fijaciones 92 entre la vejiga 90 y la pared 27 del recipiente de presión variable 10 son estancas al aire. El puerto 94 se utiliza para la entrada de aire, y el puerto 96 se utiliza para la salida de aire. Los puertos 94 y 96 están conectados a las válvulas 46 y 48, respectivamente. El puerto 98 se utiliza para la conexión del recipiente de presión variable 10 al cilindro hidráulico 16.

[0057] En el caso de la compresión de gas, cuando el pistón 28 se contrae (se mueve de izquierda a derecha en la figura 17), el líquido hidráulico fluye desde el cilindro hidráulico 16 en la cámara de líquido 12, provocando que el volumen de gas en la cámara de aire 14 disminuya. Cuando el pistón 28 se expande (se mueve de derecha a izquierda en la figura 17), el líquido hidráulico fluye desde la cámara de líquido 12 en el cilindro hidráulico 16 y el volumen del gas en la cámara de gas 14 aumenta. Cuando el pistón 28 está completamente retraído, el volumen de gas restante en la cámara de gas 14 es el menor posible. En este texto, las palabras "gas" y "aire" se utilizan indistintamente, ya que la unidad descrita se puede utilizar para la compresión de diferentes gases, incluido el aire.

[0058] A continuación se describe el recipiente de compresión variable 10 en uso como dispositivo de almacenamiento de energía con referencia específica a la forma de realización de la figura 17. Sin embargo, los expertos en la técnica apreciarán que las otras formas de realización descritas en el presente documento también se pueden utilizar de forma similar.

# 1. Compresión de gas

[0059] Cuando la unidad mostrada en la figura 17 funciona como una unidad de compresión, el pistón 28 del cilindro hidráulico 16 es desplazado por un motor rotativo, conectado a un convertidor mecánico (no mostrado) del movimiento rotativo del motor a un movimiento recíproco. El convertidor del movimiento rotativo del motor a un movimiento recíproco acciona el pistón 28. La válvula 46 permite que el gas fluya sólo hacia la vejiga 90, mientras que la válvula 48 permite que el gas fluya sólo hacia fuera de la vejiga. Las válvulas 46 y 48 pueden ser válvulas de retención, electroválvulas u otro tipo de válvulas.

[0060] Etapa 1.1. Cuando el pistón 28 se extiende (se mueve de derecha a izquierda en la figura 17), extrae líquido hidráulico del recipiente de compresión al cilindro hidráulico. Esto da lugar a que la vejiga 90 se expanda y se llene con un gas fresco desde el puerto 94 y la válvula 46. Durante la extensión del cilindro hidráulico, la válvula 46 está abierta. La válvula 48 está cerrada durante la extensión del cilindro hidráulico.

[0061] Etapa 1.2. En la siguiente etapa, el movimiento del pistón se invierte, es decir, empieza a retraerse y, como resultado, el líquido hidráulico fluye desde el cilindro hidráulico 16 a la cámara de líquido de compresión 12. Durante la segunda etapa, la válvula 46 está cerrada. Etapa 1.2.1. Inicialmente, la válvula 48 está cerrada. Como resultado de la entrada de líquido hidráulico, la vejiga 90 se contrae, comprimiendo el aire en la cámara de aire 14. Etapa 1.2.2. Tras haber alcanzado la presión de compresión de gas requerida, la válvula 48 se abre y el aire comprimido sale de la vejiga a través del puerto 96 y la válvula 48 hacia un recipiente de almacenamiento de gas comprimido. Una vez que el pistón 28 alcanza su retracción completa, se repite la primera etapa, seguida de nuevo por la segunda etapa y

así sucesivamente. Durante la compresión (etapa 1.2.1), el gas de compresión genera calor. Con objeto de mantener las condiciones isotérmicas (o, en la vida real, próximas a isotérmicas) del gas, casi todo el calor generado tiene que ser transferido desde el gas de compresión a la pared 27 del recipiente de compresión variable 10. A continuación, fuera de la unidad de compresión, el calor se transfiere desde la pared externa 27 a la atmósfera circundante o a un líquido de transferencia de calor, que rodea al recipiente de compresión variable 10. Para mejorar la transferencia de calor externo, las paredes externas del recipiente de compresión pueden tener aletas u otros elementos descritos anteriormente que aumentan el área de transferencia de calor y, por lo tanto, la tasa de transferencia de calor.

## 2. Expansión de gas

[0062] Cuando la unidad mostrada en la figura 17 funciona como una unidad de expansión de gas, el pistón 28 del cilindro hidráulico 16 suministra energía mecánica a un generador eléctrico a través del convertidor (no mostrado) del movimiento recíproco del pistón al movimiento rotatorio del generador eléctrico. El convertidor del movimiento recíproco del pistón al movimiento rotatorio del motor es accionado por el pistón 28. Alternativamente, un generador eléctrico lineal puede accionarse mediante el cilindro hidráulico.

[0063] Etapa 2.1. Durante la etapa, el pistón 28 se extiende. Etapa 2.1.1. En la primera parte del proceso de expansión de gas (figura 17), la válvula 46 se abre brevemente para permitir que una cierta cantidad de aire comprimido del recipiente de almacenamiento de aire comprimido entre en la vejiga 90. La válvula 46 es una electroválvula u otro tipo de válvula controlable. Etapa 2.1.2. Una vez que entra suficiente aire comprimido en la vejiga 90, la válvula 46 se cierra. El volumen de gas comprimido requerido se ha descrito anteriormente en los documentos (PCT/CA2013/050972 y PCT/CA2015/050137). El aire comprimido, introducido en la cámara de aire 14, obliga a la vejiga 90 a expandirse y provoca que el líquido hidráulico fluya desde la cámara de aire 14 al cilindro hidráulico 16 a través del puerto 98, extendiendo así el pistón 28 (moviéndolo hacia la izquierda en la figura 2).

[0064] Etapa 2.2. En la segunda etapa (evacuación de gas), el pistón se retrae y, como resultado, el líquido hidráulico fluye desde el cilindro hidráulico 16 a la cámara de aire de expansión 14. Como resultado, la vejiga 90 se contrae, empujando el aire fuera de la vejiga a través del puerto 96 y la válvula 48. La válvula 48 es una electroválvula u otro tipo de válvula controlable. La válvula 48 está abierta durante todo el ciclo de retracción del pistón 28 (etapa 2.2) y está cerrada durante el ciclo de extensión del pistón (etapa 2.1). Después de terminar la segunda etapa (retracción del pistón 28), se repite la primera etapa, seguida de nuevo por la segunda etapa y así sucesivamente. Durante la expansión del gas (etapa 2.1.2), el gas de expansión consume calor. Con objeto de mantener las condiciones isotérmicas (o, en la vida real, próximas a isotérmicas) del gas, el calor consumido tiene que ser suministrado desde el entorno exterior de la cámara de aire 14 de expansión a la pared de la cámara de aire 14 y luego al gas de expansión. Para mejorar la transferencia de calor externa, las paredes externas de la cámara de aire 14 de expansión pueden tener aletas u otros elementos que aumenten el área de transferencia de calor y, por lo tanto, aumenten la tasa de transferencia de calor.

[0065] En términos generales, los sistemas descritos en el presente documento están dirigidos a recipientes de presión variable. Se describirán varias formas de realización y aspectos de la invención con referencia a detalles que se analizan a continuación. La siguiente descripción y los dibujos ilustran la invención y no deben interpretarse como una limitación de la invención. Se describen numerosos detalles específicos para proporcionar una comprensión exhaustiva de diversas formas de realización de la presente invención. Sin embargo, en ciertos casos, no se describen detalles de sobra conocidos ni convencionales con el fin de proporcionar una presentación concisa de las formas de realización de la presente invención.

[0066] De acuerdo con el uso en el presente documento, los términos, "comprende" y "que comprende" deben interpretarse como inclusivos y abiertos, y no exclusivos. Específicamente, cuando se utilizan en las especificaciones y las reivindicaciones, los términos, "comprende" y "que comprende" y sus variaciones significan que se incluyen las características, etapas o componentes especificados. Estos términos no deben interpretarse para excluir la presencia de otras características, etapas o componentes.

# REIVINDICACIONES

1. Sistema de presión variable tanto para la compresión como para la expansión de gases que comprende:  
5 un cilindro hidráulico (16) con una primera carrera y una segunda carrera;  
un tanque de gas (18); y  
un recipiente de presión variable (10) que tiene un volumen y está conectado operativamente al cilindro  
hidráulico y conectado operativamente al tanque;  
10 donde el recipiente de presión variable (10) incluye:  
una cámara de líquido (12) con un volumen variable que cambia en función de la primera carrera y la  
segunda carrera;  
una cámara de gas (14) con un volumen variable que cambia en función de la primera carrera y la  
segunda carrera,  
15 **caracterizado por el hecho de que**  
la cámara de gas (14) tiene una pared externa donde al menos una parte de la pared externa es  
termoconductora y permite que el calor se transfiera a través de ella; y el sistema de presión variable  
tiene una barrera flexible móvil entre la cámara de líquido (12) y la cámara de gas (14), y donde el  
movimiento de la barrera móvil provoca que el volumen en la cámara de líquido (12) y el volumen en la  
20 cámara de gas (14) se desplacen mutuamente y el volumen en la cámara de gas más el volumen en la  
cámara de líquido es generalmente constante y generalmente igual al volumen en el recipiente de  
presión variable (10).
2. Sistema de presión variable según la reivindicación 1, donde la cámara de gas (14) está definida por una placa  
(42) con alta conductividad térmica y la barrera móvil.  
25
3. Sistema de presión variable según la reivindicación 1, donde la cámara de gas (14) está definida por un tubo  
interno (60) y una vejiga externa flexible (62); y donde la vejiga externa flexible es la barrera móvil.
4. Sistema de presión variable según la reivindicación 1, donde la barrera móvil es un fuelle (30).  
30
5. Sistema de presión variable según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, donde el recipiente de presión (10)  
está definido por paredes (27), la cámara de gas (14) está definida al menos en parte por la barrera móvil y la cámara  
de líquido (12) es el volumen entre la cámara de gas (14) y las paredes (27) del recipiente de presión.
- 35 6. Sistema de presión variable según la reivindicación 5, donde la cámara de gas (14) está definida por un tubo  
cilíndrico hueco interno (60) hecho de un material con alta conductividad térmica y una barrera móvil.
7. Sistema de presión variable según la reivindicación 6, donde la barrera móvil se sitúa en el exterior del tubo  
cilíndrico hueco interno (60).  
40
8. Sistema de presión variable según la reivindicación 6, donde la barrera móvil se sitúa en el interior del tubo  
cilíndrico hueco interno (60).
9. Sistema de presión variable según cualquiera de las reivindicaciones 7 u 8 donde el tubo cilíndrico hueco interno  
45 (60) define un volumen interno y el volumen interno está en comunicación de flujo con la cámara de líquido (12) y  
forma parte de la cámara de líquido.
10. Sistema de presión variable según la reivindicación 7, donde el tubo cilíndrico hueco interno (60) define un  
volumen interno y el volumen interno está en comunicación de flujo con una entrada (68) y una salida (70) que es  
50 externa al recipiente de presión.
11. Sistema de presión variable según la reivindicación 10, donde el volumen interno del tubo cilíndrico hueco interno  
(60) está lleno de fluido de transferencia de calor (66).
- 55 12. Sistema de presión variable según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11 donde el recipiente de presión  
variable (10) es un recipiente generalmente cilíndrico.
13. Sistema de presión variable según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4 donde el recipiente de presión (10)  
está definido por paredes (27), la cámara de gas (14) está definida al menos en parte por la barrera móvil y la cámara  
60 de gas (14) es el volumen entre la cámara de líquido (12) y las paredes (27) del recipiente de presión.

14. Sistema de presión variable según la reivindicación 13, donde el recipiente de presión variable (10) es un recipiente generalmente cilíndrico y la barrera móvil es una vejiga generalmente tubular unida en cada uno de sus extremos al recipiente generalmente cilíndrico y la cámara de gas está definida por la vejiga generalmente tubular y el recipiente generalmente cilíndrico.

5

15. Sistema de presión variable según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 14 donde la cámara de líquido (12) y la cámara de gas (14) tienen una interfaz entre ellas y se puede calcular el valor del coeficiente de transferencia de calor de la interfaz.

$$K = [p_1 V_1 \delta / (t_{\text{stroke}} A \Delta T)] \ln(p_1/p_2)$$

10

y en el proceso de compresión de gas  $p_1$  es la presión inicial del gas,  $p_2$  es la presión final del gas tras la compresión,  $A$  es la superficie de la transferencia de calor,  $\Delta T$  es la diferencia entre la temperatura inicial y la final,  $t_{\text{stroke}}$  es el tiempo de la carrera de compresión,  $V_1$  es el volumen del gas al inicio de la carrera de compresión,  $\delta$  es el espesor de la pared, y en el proceso de expansión del gas  $V_1$  es el volumen del gas al final del ciclo de expansión,  $p_1$  es la presión del gas al principio de la expansión del gas,  $p_2$  es la presión final del gas al final de la expansión y el

15

coeficiente de transferencia de calor del material para la interfaz es mayor o igual al valor  $K$  calculado.

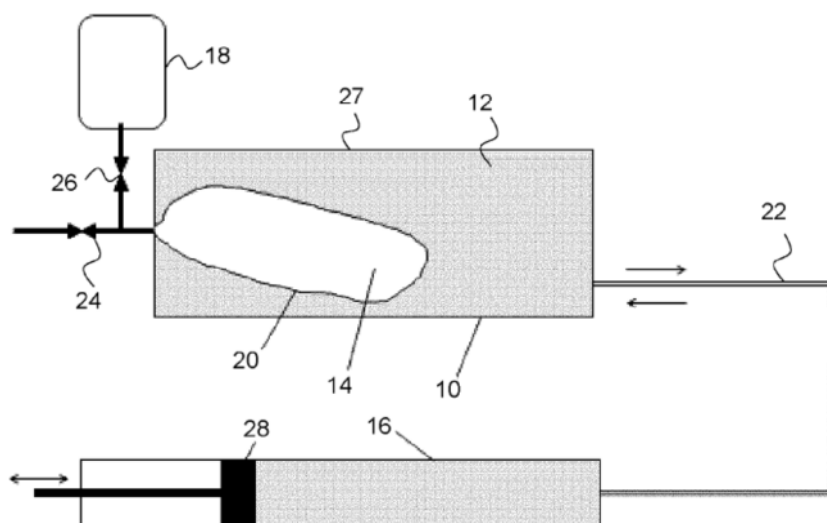


FIG. 1

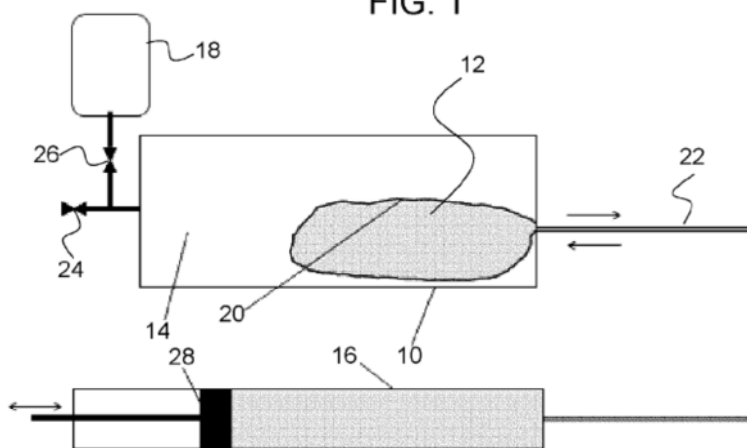


FIG. 2

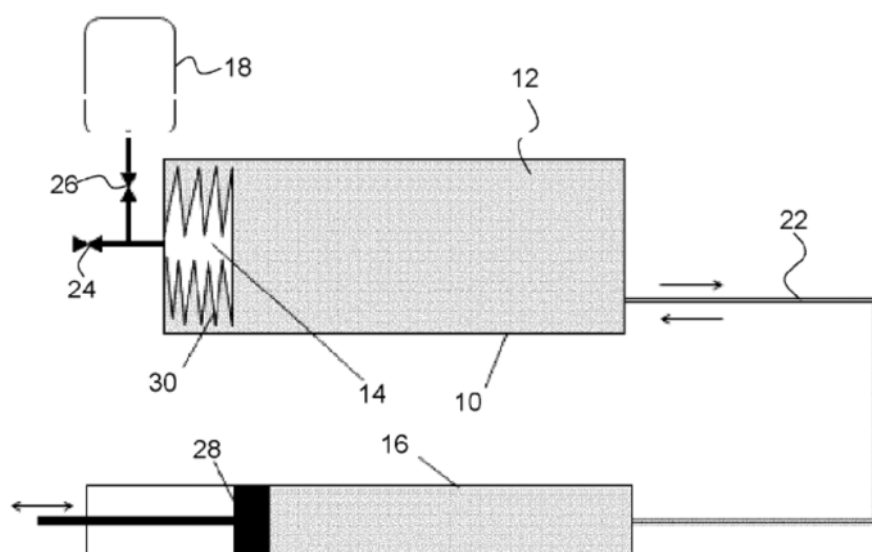


FIG. 3

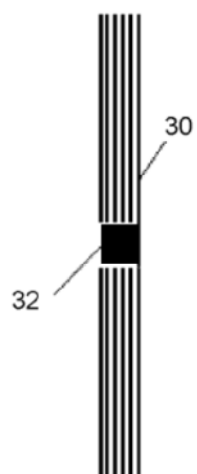


FIG. 4

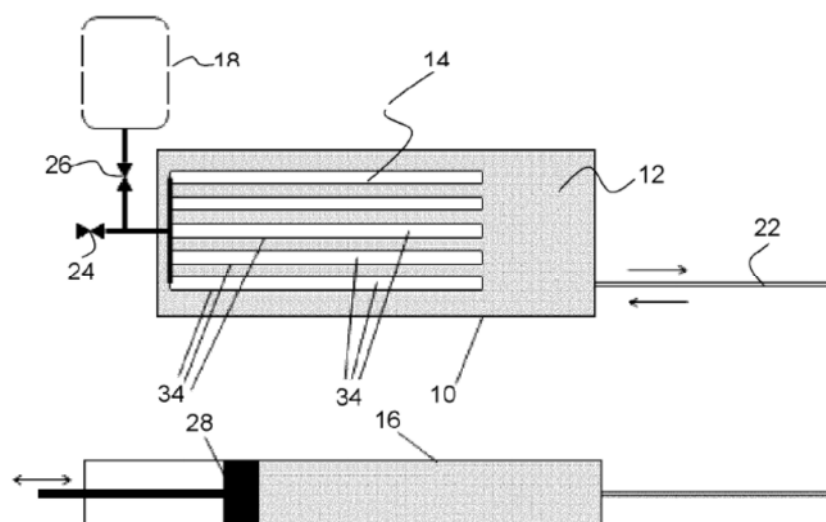


FIG. 5

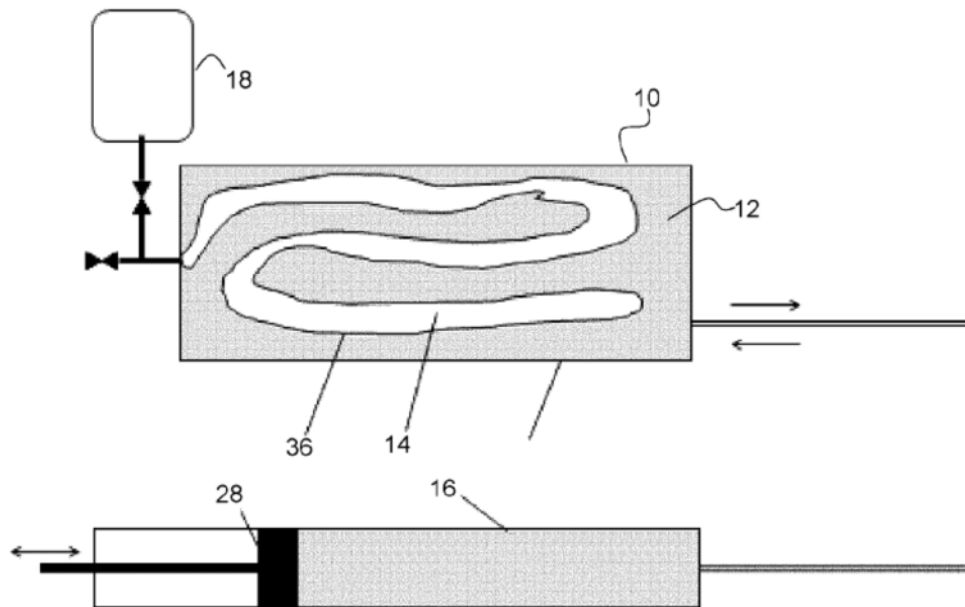


FIG.6

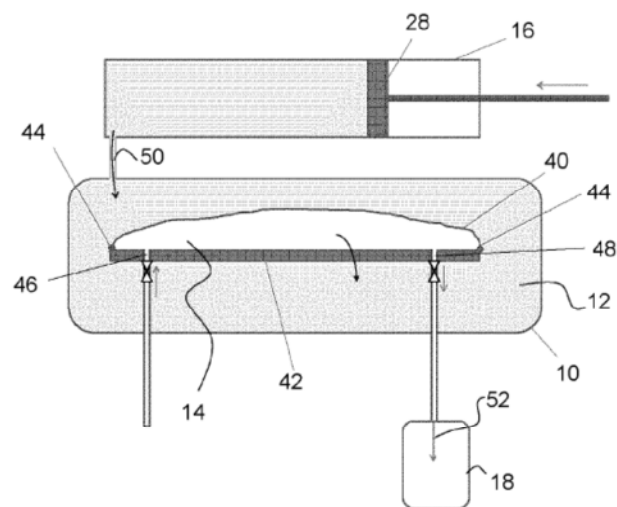


FIG. 7

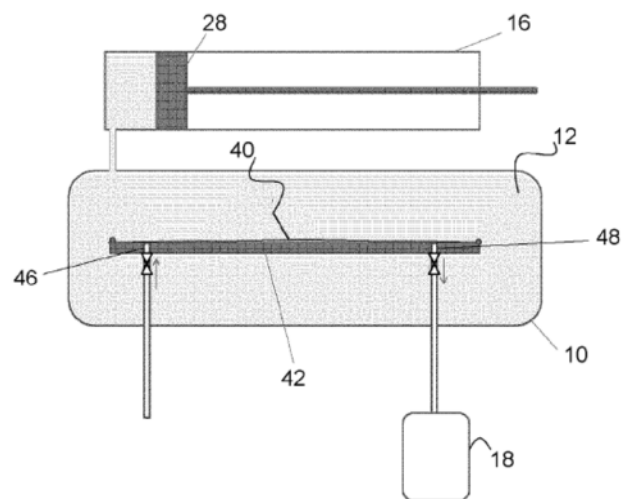


FIG. 8

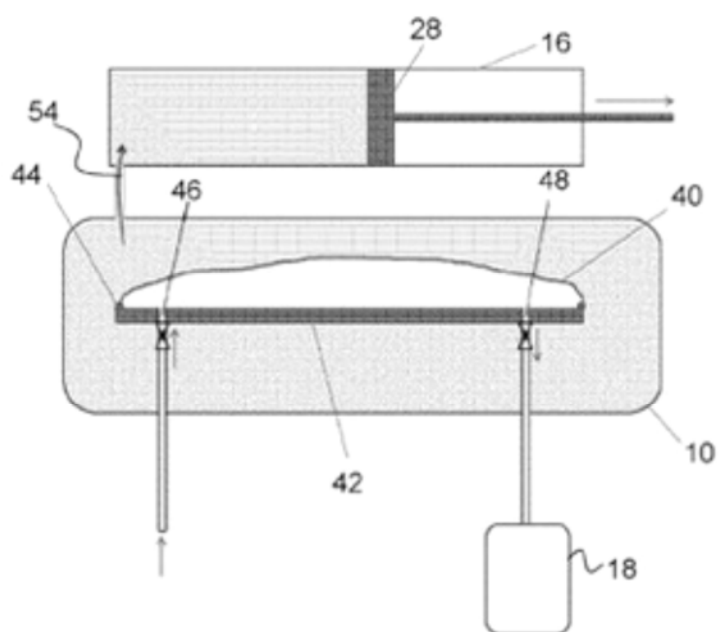


FIG. 9

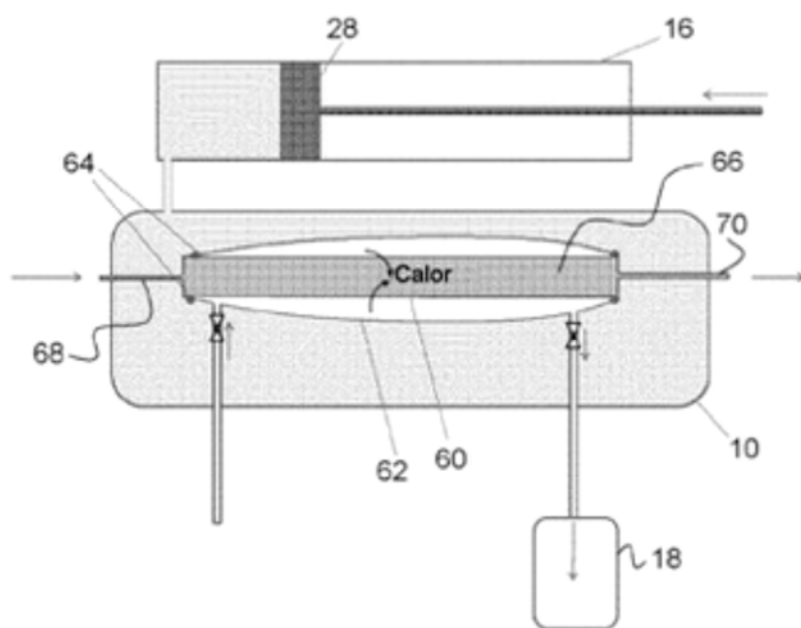


FIG. 10

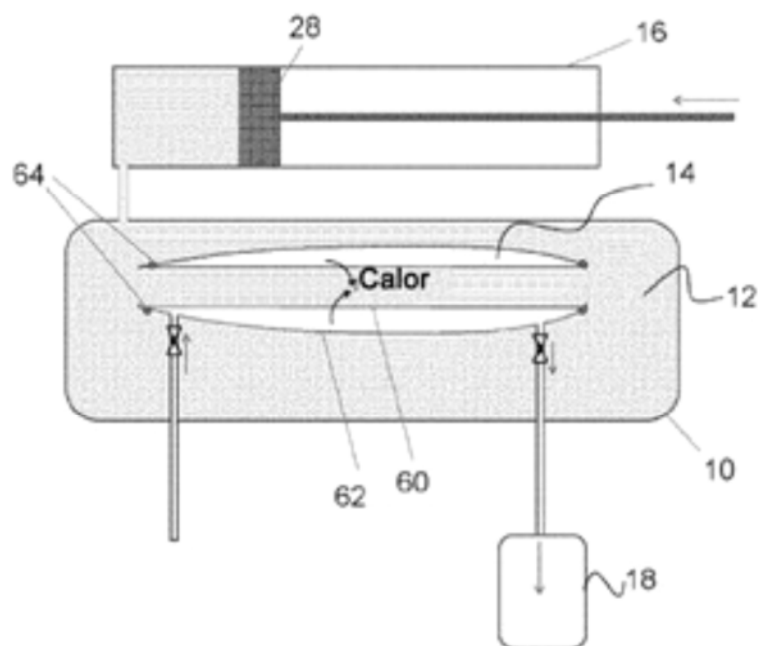


FIG. 11

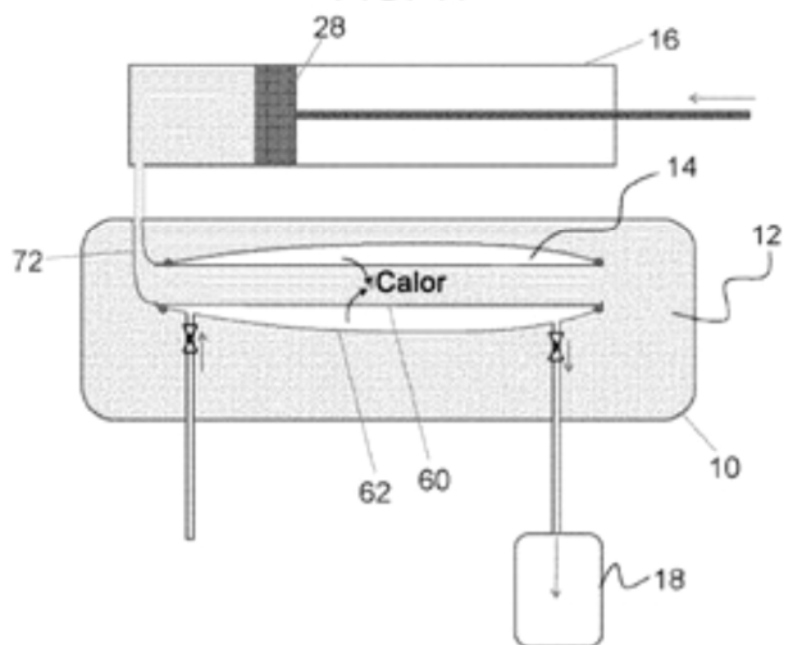


FIG. 12

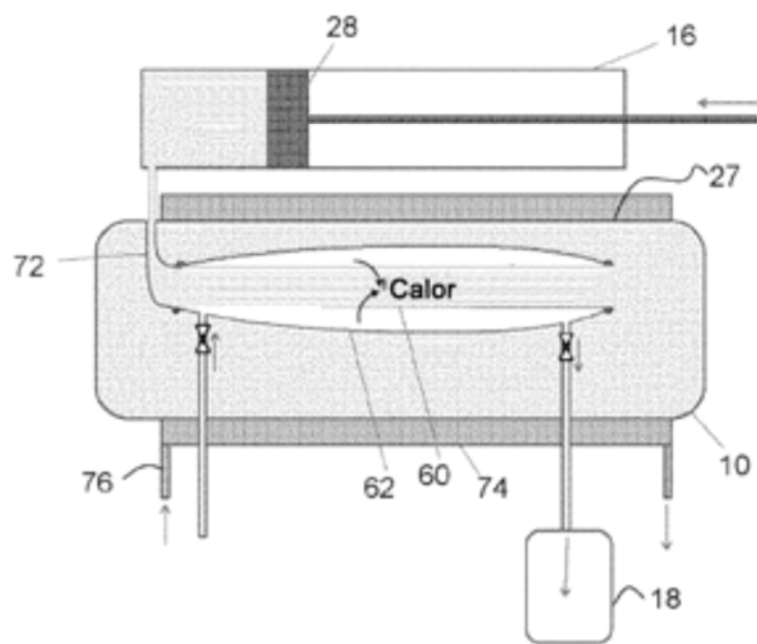


FIG. 13

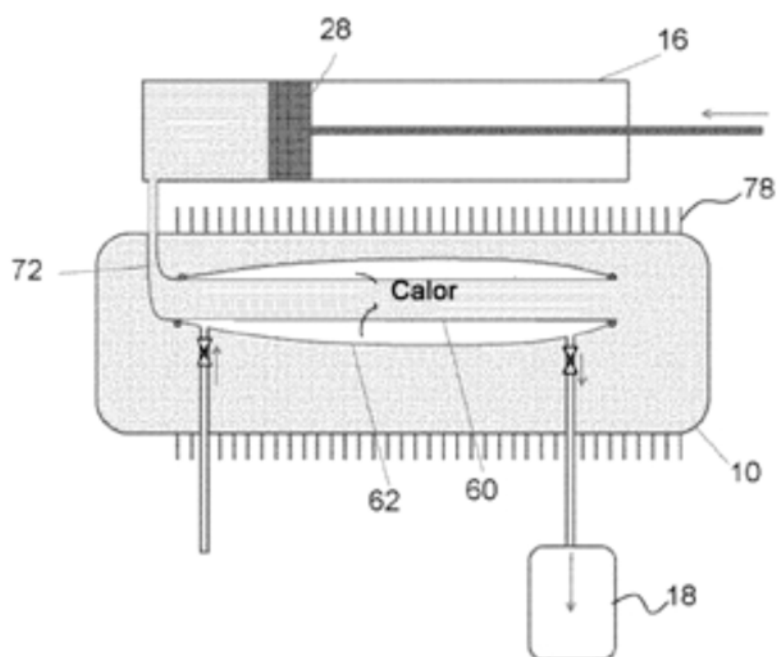


FIG. 14

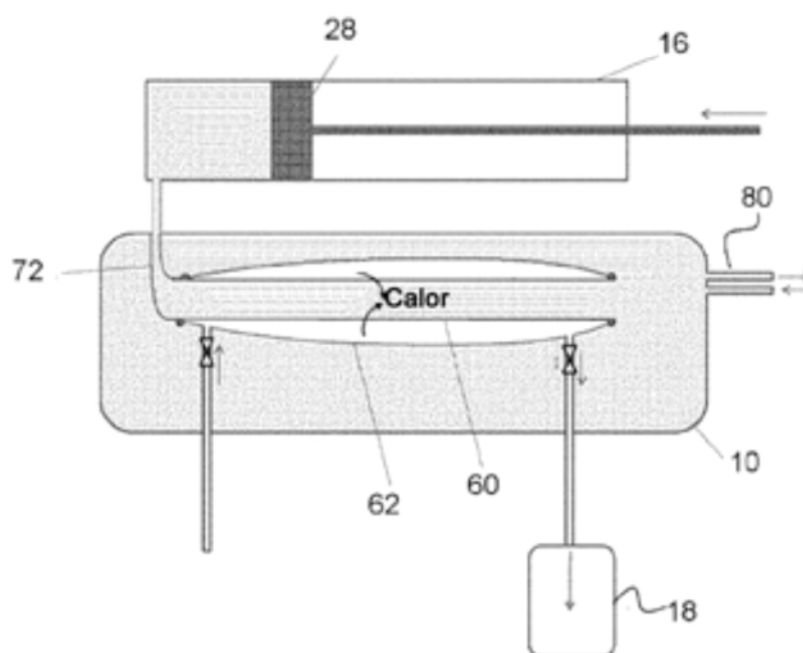


FIG. 15

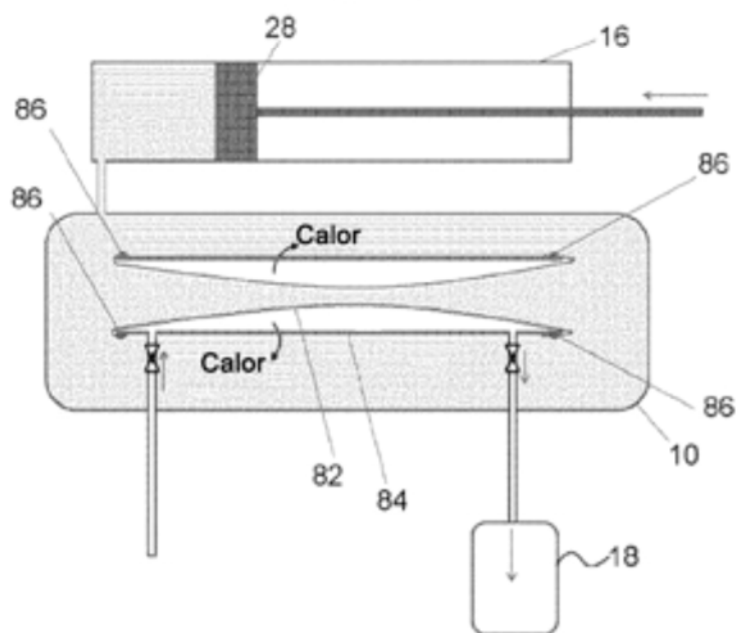


FIG. 16

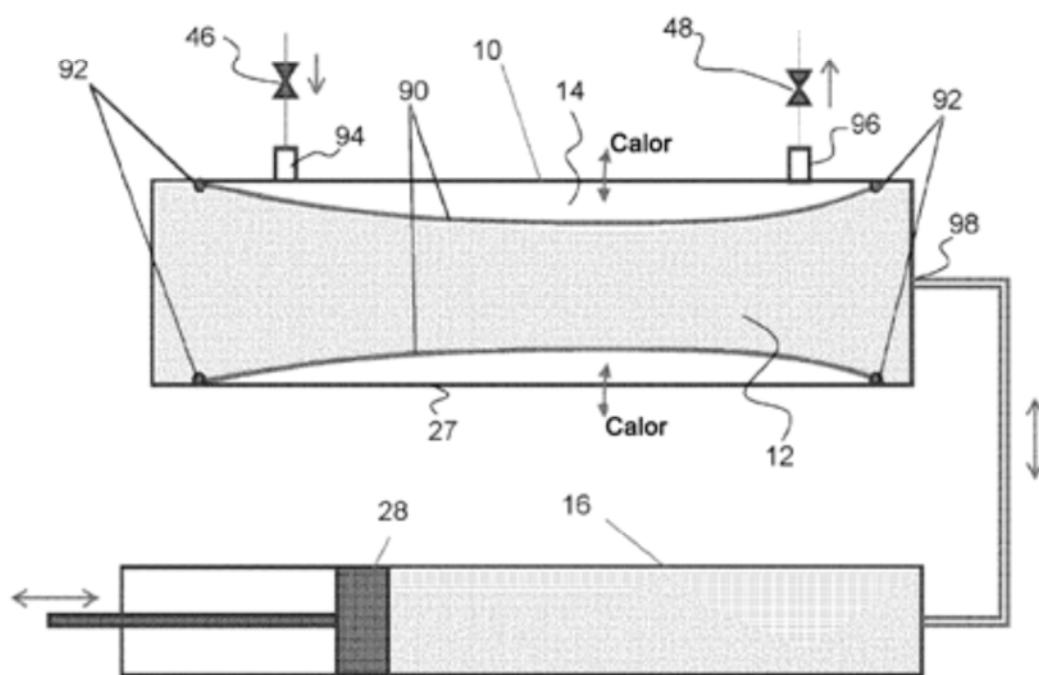


FIG. 17