

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **3 015 577**

51 Int. Cl.:

<b>B65G 5/00</b>	(2006.01)	<b>F28D 20/00</b>	(2006.01)
<b>F02C 6/16</b>	(2006.01)		
<b>F02B 13/06</b>	(2006.01)		
<b>F03D 9/13</b>	(2006.01)		
<b>F03D 9/17</b>	(2006.01)		
<b>F17B 1/16</b>	(2006.01)		
<b>F17C 13/00</b>	(2006.01)		
<b>F17C 5/06</b>	(2006.01)		
<b>F17C 7/00</b>	(2006.01)		
<b>F28D 19/02</b>	(2006.01)		

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **13.01.2020 PCT/CA2020/050032**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **23.07.2020 WO20146938**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **13.01.2020 E 20740789 (1)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **05.03.2025 EP 3911588**

54 Título: **Un sistema de almacenamiento de energía de gas comprimido**

30 Prioridad:

**15.01.2019 US 201962792708 P**

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

**06.05.2025**

73 Titular/es:

**HYDROSTOR INC. (100.00%)  
365 Bay St, no. 300  
Toronto, ON M5H 2V1, CA**

72 Inventor/es:

**LEWIS, CAMERON y  
MCGILLIS, ANDREW**

74 Agente/Representante:

**VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro**

**ES 3 015 577 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**

Un sistema de almacenamiento de energía de gas comprimido

**5 Campo**

La presente divulgación se refiere en general al almacenamiento de energía de gas comprimido y, más particularmente, a un sistema de almacenamiento de energía de gas comprimido.

**10 Introducción**

El almacenamiento de electricidad es muy buscado, en vista de las disparidades de costes en las que se incurre cuando se consume energía eléctrica de una red eléctrica durante los períodos de uso pico, en comparación con los períodos de bajo uso. La adición de fuentes de energía renovables, que son inherentemente de naturaleza de suministro discontinuo o intermitente, aumenta la demanda de almacenamiento de energía eléctrica asequible en todo el mundo.

Por tanto, existe la necesidad de almacenar eficazmente la energía eléctrica producida en una red eléctrica o una fuente renovable durante un período no pico y proporcionarla a la red según la demanda. Adicionalmente, en la medida en que se minimicen los costes de preparación de la infraestructura y el impacto ambiental de la implementación de dicha infraestructura, se mejora la utilidad y conveniencia de una solución dada.

Asimismo, a medida que las redes se transforman y los operadores buscan almacenamiento además de las energías renovables para proporcionar energía y eliminar las formas tradicionales de generación que también brindan estabilidad a la red, tal como soporte de tensión, es altamente deseable un método de almacenamiento que ofrezca almacenamiento síncrono basado en inercia.

El documento WO 2017/194253 divulga un dispositivo para el intercambio de calor entre un fluido y partículas de almacenamiento de calor. El sistema de intercambio comprende dos volúmenes para almacenar las partículas y un área de intercambio en la que el fluido y dichas partículas de almacenamiento de calor fluyen en contracorriente.

El documento US 2017/159503 divulga un sistema y un método para intercambiar calor entre un fluido y partículas de almacenamiento de calor. El sistema de intercambio comprende un área de intercambio en la que el fluido y las partículas de almacenamiento de calor en un lecho fluidizado fluyen como un flujo a contracorriente y un flujo cruzado. El documento también divulga un sistema y método de almacenamiento y restauración de energía de gas comprimido que usa el sistema de intercambio de calor.

**Sumario de la invención**

La invención es como se expone en el conjunto de reivindicaciones adjunto.

De acuerdo con un aspecto amplio de las enseñanzas descritas en el presente documento, que puede usarse solo o en combinación con cualquier otro aspecto, el acumulador puede tener una abertura primaria, una pared superior, una pared inferior y un interior del acumulador limitado al menos parcialmente la pared superior y la pared inferior. El acumulador puede configurarse para contener una capa de gas comprimido encima de una capa de líquido cuando está en uso. El subsistema de compresor/expansor de gas puede estar separado del acumulador y un conducto de gas puede tener un extremo superior en comunicación con el subsistema de compresor/expansor de gas y un extremo inferior en comunicación con un interior del acumulador para transportar gas comprimido entre la capa de gas comprimido en el acumulador y el subsistema de compresor/expansor. Un pozo puede tener un extremo inferior adyacente a la abertura primaria, un extremo superior separado del extremo inferior, y una pared lateral de pozo que se extiende hacia arriba del extremo inferior al extremo superior y que limita al menos parcialmente un interior de pozo para contener una cantidad de líquido. El pozo puede conectarse de manera fluida a una fuente/sumidero de líquido a través de un conducto de suministro de líquido. El subsistema de almacenamiento térmico puede proporcionarse en comunicación fluida entre el subsistema de compresor/expansor de gas y el acumulador, por lo que la energía térmica puede extraerse del gas comprimido que sale del subsistema de compresor/expansor de gas a una temperatura de salida durante una fase/proceso de carga y almacenarse en el subsistema de almacenamiento térmico y la temperatura del gas que sale del subsistema de almacenamiento térmico puede reducirse a una temperatura de almacenamiento que es menor que la temperatura de salida. Durante un proceso de expansión, el gas que sale del acumulador puede pasar a través del subsistema de almacenamiento térmico nuevamente antes de llegar al subsistema de compresor/expansor de gas, por lo que al menos una parte de la energía térmica que se extrajo del gas comprimido que entra en el acumulador puede volver a introducirse en el gas que sale del acumulador para elevar la temperatura del gas de la temperatura de almacenamiento a una temperatura de salida más alta, antes de la expansión. Esto puede ayudar a proporcionar una eficiencia de sistema deseada.

Se puede colocar un tabique en el extremo inferior del pozo y cubrir la abertura primaria y separar el interior del acumulador del interior del pozo, teniendo el tabique una superficie exterior en comunicación con el interior del pozo

y una superficie interior opuesta en comunicación con el interior del acumulador. Al menos una de la capa de gas comprimido y la capa de líquido puede apoyarse y ejercer una fuerza de acumulación interna sobre la superficie interior del tabique y la cantidad de líquido dentro del pozo se apoya contra y ejerce una contrafuerza externa sobre la superficie exterior del tabique, por lo que una fuerza neta que actúa sobre el tabique mientras el sistema de almacenamiento de energía de gas comprimido está en uso es una diferencia entre la fuerza del acumulador y la contrafuerza y puede ser menor que la fuerza del acumulador.

Existen varias posibilidades para los medios de almacenamiento térmico, incluyendo líquidos o sólidos, tales como partículas granulares como arena, grava, partículas de metal o partículas de ladrillo. De manera similar, hay muchas configuraciones posibles para el intercambio de calor de energía térmica entre los medios de almacenamiento térmico y el gas comprimido, incluyendo intercambiadores de calor directos e indirectos. La elección del estilo de intercambiador de calor puede verse influenciada por la elección de los medios de almacenamiento térmico. El sistema de almacenamiento de energía de aire comprimido reivindicado requiere que la cámara de almacenamiento en frío sea para contener un suministro de partículas de transferencia de calor granulares a una temperatura fría y presión de almacenamiento en frío, y que la cámara de almacenamiento en caliente sea para contener el suministro de partículas de transferencia de calor granulares a una temperatura caliente y presión de almacenamiento en caliente. El método reivindicado de almacenamiento temporal de energía térmica a través de un subsistema de almacenamiento térmico en un sistema de almacenamiento de energía de aire comprimido utiliza partículas de transferencia de calor granulares.

En algunas realizaciones, el medio de almacenamiento térmico preferido puede ser un material sólido, en lugar de un líquido o gas, y puede incluir opcionalmente partículas granulares (tales como grava, arena, rocas, metal, ladrillo refractario, sílice y similares). Tales partículas granulares pueden proporcionarse en contacto directo con el gas que fluye a través de la trayectoria de flujo de gas, lo que puede ayudar a mejorar la transferencia de calor entre el gas y las partículas granulares. Cuando se opera dentro de sus parámetros operativos previstos, el uso de partículas granulares dentro del subsistema de almacenamiento térmico puede ayudar a facilitar dicho intercambio de calor de contacto directo al tiempo que ayuda a reducir las posibilidades de evaporación de los medios de almacenamiento térmico y/o mezcla de los medios de almacenamiento térmico en la corriente de gas que fluye, que pudiera ser preocupante si se usan medios de almacenamiento térmico de líquido o gas en una disposición de contacto directo.

Debido a que es poco probable que las partículas granulares cambien de fase/estado cuando se calientan por la corriente de flujo de gas o cuando se almacenan en un estado calentado, en comparación con calentar un medio de almacenamiento térmico líquido tal como agua, el uso de partículas de almacenamiento térmico granulares puede ayudar a facilitar el funcionamiento de un depósito de almacenamiento y otros aspectos del subsistema de almacenamiento térmico a presión generalmente atmosférica (por ejemplo, sin la necesidad de presurizar el depósito de almacenamiento para ayudar a inhibir la ebullición de un medio de almacenamiento térmico líquido que se ha calentado a una temperatura que está por encima de su punto de ebullición a presión atmosférica).

Opcionalmente, el conducto de gas transporta gas comprimido entre la capa de gas comprimido y el subsistema de compresor/expansor de gas a través de un subsistema de almacenamiento térmico, y partes del subsistema de almacenamiento térmico pueden formar parte de la trayectoria de flujo de gas entre el subsistema de compresor/expansor y el acumulador.

La presente invención proporciona un sistema de almacenamiento de energía de aire comprimido como se define en la reivindicación 1. El interior del acumulador puede configurarse para contener gas comprimido a una presión de almacenamiento que está entre 10 y 100 bar, o entre aproximadamente 30 y 80 bar, o entre aproximadamente 50 y 60 bar cuando está en uso.

La presión de mezcla puede ser sustancialmente la misma que la presión de almacenamiento (y puede ser la misma que la del acumulador y la salida del compresor).

La cámara de almacenamiento en caliente puede estar separada y aislada de manera fluida de la cámara de almacenamiento en frío.

La esclusa de aire de entrada en la entrada de partículas puede ser operable para permitir el paso de las partículas de transferencia de calor granulares a la temperatura de almacenamiento fría o caliente al interior de la cámara de mezcla mientras se mantiene el interior a la presión de mezcla con una pérdida mínima de aire.

La esclusa de aire de salida en la salida de partículas puede ser operable para permitir el paso de las partículas de transferencia de calor granulares a la temperatura de almacenamiento fría o caliente fuera de la cámara de mezcla mientras se mantiene el interior a la presión de mezcla con una pérdida mínima de aire.

Las partículas de transferencia de calor granulares pueden incluir al menos uno de arena, sílice, grava, rocas y similares. Como alternativa, las partículas de transferencia de calor granulares pueden estar compuestas de hormigón, metal, cerámica y similares. Estas partículas pueden construirse con un propósito o pueden reutilizarse/reciclarse a partir de un propósito anterior.

Las partículas de transferencia de calor granulares pueden transportarse en un flujo generalmente continuo entre el tanque de almacenamiento en frío, cámara de mezcla y tanque de almacenamiento en caliente cuando el sistema está en el modo de carga o descarga, u opcionalmente puede transportarse en un proceso generalmente por lotes.

5 La cámara de mezcla puede configurarse en una disposición de contraflujo en la que las partículas de transferencia de calor granulares se mueven desde la entrada de partículas hasta la salida de partículas en una primera dirección de flujo y el gas comprimido se mueve desde la entrada de gas hasta la salida de gas en una segunda dirección de flujo generalmente opuesta.

10 La entrada de partículas puede estar dispuesta hacia un extremo superior de la cámara de mezcla y la salida de partículas puede estar dispuesta hacia un extremo inferior de la cámara de mezcla, por lo que las partículas de transferencia de calor granulares caen generalmente hacia abajo por gravedad a través del interior de la cámara de mezcla en el modo de carga y el gas comprimido fluye hacia arriba a través de la cámara de mezcla en el modo de carga.

15 La entrada de partículas puede estar dispuesta hacia un extremo superior de la cámara de mezcla y la salida de partículas puede estar dispuesta hacia un extremo inferior de la cámara de mezcla, por lo que las partículas de transferencia de calor granulares caen generalmente hacia abajo por gravedad a través del interior de la cámara de mezcla en el modo de descarga y el gas comprimido fluye hacia arriba a través de la cámara de mezcla en el modo de descarga.

20 La entrada de partículas puede incluir un puerto de entrada fría en comunicación con la cámara de almacenamiento en frío y un puerto de entrada separado y caliente en comunicación con la cámara de almacenamiento en caliente. La salida de partículas puede incluir un puerto de salida fría en comunicación con la cámara de almacenamiento en frío y un puerto de salida separado y caliente en comunicación con la cámara de almacenamiento en caliente.

25 La presión de mezcla puede ser mayor que la presión atmosférica y puede ser igual o menor que la presión de almacenamiento.

30 La cámara de almacenamiento en caliente puede estar a una presión más baja que la cámara de mezcla.

35 La presión de almacenamiento en caliente puede ser inferior a aproximadamente el 10 % de la presión de almacenamiento.

La cámara de almacenamiento en caliente puede estar sustancialmente a presión atmosférica.

40 La cámara de almacenamiento en frío puede estar a una presión más baja que la cámara de mezcla.

La presión de almacenamiento en frío puede ser inferior a aproximadamente el 10 % de la presión de almacenamiento.

La cámara de almacenamiento en frío puede estar sustancialmente a presión atmosférica.

45 La cámara de almacenamiento en frío puede estar sustancialmente a la misma presión que la cámara de almacenamiento en caliente.

La capacidad de la cámara de almacenamiento en frío puede ser mayor que la capacidad de la cámara de mezcla.

50 La capacidad de la cámara de almacenamiento en caliente puede ser mayor que la capacidad de la cámara de mezcla.

55 La presente invención proporciona un método para almacenar temporalmente energía térmica a través de un subsistema de almacenamiento térmico en un sistema de almacenamiento de energía de aire comprimido, en donde el método es como se define en la reivindicación 12. Poner en contacto las partículas de transferencia de calor granulares en el interior de una cámara de mezcla con el gas comprimido que se desplaza desde el subsistema de compresor/expansor de gas hacia el interior del acumulador, transfiere energía térmica del gas comprimido a las partículas de transferencia de calor granulares, calentando las partículas de transferencia de calor granulares y enfriando el gas comprimido. Poner en contacto la segunda parte de partículas de transferencia de calor granulares frías en el interior con el gas comprimido que se desplaza desde el subsistema de compresor/expansor de gas hacia el interior del acumulador, transfiere energía térmica del gas comprimido a la segunda parte de partículas de transferencia de calor granulares frías, proporcionando una segunda parte de partículas de transferencia de calor granulares calentadas y enfriando el gas comprimido.

60 La primera parte de partículas de transferencia de calor granulares frías puede incluir solo una parte de la cantidad total de partículas de transferencia de calor granulares frías contenidas en la cámara de almacenamiento en frío.

65 La primera parte de partículas de transferencia de calor granulares frías puede caer hacia abajo por gravedad a través

del interior de la cámara de mezcla y el gas comprimido puede viajar generalmente en la dirección opuesta a la primera parte de partículas de transferencia de calor granulares frías.

5 Al menos una de la presión de almacenamiento en frío y la presión de almacenamiento en caliente puede ser aproximadamente la presión atmosférica.

Las etapas i) a vi) pueden llevarse a cabo de una manera generalmente continua por lo que al menos parte de la primera parte de partículas de transferencia de calor granulares frías están en la cámara de mezcla al mismo tiempo que la segunda parte de partículas de transferencia de calor granulares frías se introducen en la cámara de mezcla.

10 El método puede incluir cargar solo parcialmente el acumulador en donde la primera parte de partículas de transferencia de calor granulares calentadas y la segunda parte de partículas de transferencia de calor granulares calentadas se almacenan dentro de la cámara de almacenamiento en caliente y en donde una tercera parte de partículas de transferencia de calor granulares frías permanece dentro del frío cámara de almacenamiento y no entra en la cámara de mezcla.

15 Cuando se opera en el modo de descarga, el método puede incluir i) transportar una cantidad de partículas de transferencia de calor granulares desde la cámara de almacenamiento en caliente al interior de la cámara de mezcla; ii) poner en contacto las partículas de transferencia de calor granulares en el interior de la cámara de mezcla con el gas comprimido que se desplaza desde el acumulador hasta el subsistema de compresor/expansor de gas, transfiriendo de este modo la energía térmica de las partículas de transferencia de calor granulares al gas comprimido, calentando el gas comprimido y enfriando las partículas de transferencia de calor granulares; y iii) transportar partículas de transferencia de calor granulares frías desde el interior de la cámara de mezcla a la cámara de almacenamiento en frío; iv) transportar una segunda cantidad de partículas de transferencia de calor granulares calientes desde la cámara de almacenamiento en caliente al interior de la cámara de mezcla; v) poner en contacto la segunda cantidad de partículas de transferencia de calor granulares calientes en el interior con el gas comprimido que se desplaza desde el acumulador hasta el subsistema de compresor/expansor de gas, transfiriendo de ese modo energía térmica desde la segunda cantidad de partículas de transferencia de calor granulares calientes al gas comprimido y calentando el gas comprimido y proporcionando una segunda cantidad de partículas de transferencia de calor granulares frías; y vi) transportar la segunda cantidad de partículas de transferencia de calor granulares frías desde el interior de la cámara de mezcla a la cámara de almacenamiento.

### Breve descripción de los dibujos

35 Los dibujos incluidos en el presente documento son para ilustrar diversos ejemplos de artículos, métodos y aparatos de la enseñanza de la presente memoria descriptiva y no pretenden limitar el alcance de lo que se enseña de ninguna manera. El alcance de la invención se define mediante las reivindicaciones.

40 La Figura 1 es una representación esquemática de un ejemplo de un sistema de almacenamiento de energía de gas comprimido hidrostáticamente;  
la Figura 2 es una representación esquemática de una parte del sistema de la Figura 1;  
la Figura 3 es una representación esquemática de otro ejemplo de un sistema de almacenamiento de energía de gas comprimido hidrostáticamente;  
45 la Figura 4 es una vista esquemática de componentes de un subsistema de compresor/expansor alternativo para un sistema de almacenamiento de energía de gas comprimido, con pares de etapas de compresión y expansión, cada una asociada con una etapa respectiva de un subsistema de almacenamiento térmico;  
la Figura 5 es una vista esquemática de los componentes del subsistema de compresor/expansor alternativo de la Figura 4, que muestra el flujo de aire durante una fase de expansión (descarga) desde el almacenamiento a través de múltiples expansores y etapas respectivas de un subsistema de almacenamiento térmico;  
50 la Figura 6 es una vista esquemática de los componentes del subsistema de compresor/expansor alternativo de la Figura 4, que muestra el flujo de aire durante una fase de compresión (carga) desde el ambiente a través de múltiples compresores y etapas respectivas de un subsistema de almacenamiento térmico;  
la Figura 7 es una vista en sección de componentes de un sistema de almacenamiento de energía de gas comprimido, de acuerdo con una realización alternativa;  
55 la Figura 8 es una vista en sección de componentes de un sistema de almacenamiento de energía de gas comprimido alternativo, de acuerdo con otra realización alternativa;  
la Figura 9 es una vista esquemática de los componentes de una realización de un sistema de almacenamiento térmico para un sistema de almacenamiento de energía de gas comprimido, que utiliza un intercambiador de calor directo con un medio de almacenamiento térmico sólido;  
60 la Figura 10A es una vista esquemática de los componentes del sistema de almacenamiento térmico de la Figura 9 durante una fase de compresión (carga), que utiliza un intercambiador de calor directo con un medio de almacenamiento térmico sólido;  
la Figura 10B es una vista esquemática de otra disposición de los componentes del sistema de almacenamiento térmico de la Figura 9 durante una fase de compresión (carga), que utiliza un intercambiador de calor directo con un medio de almacenamiento térmico sólido; y  
65 la Figura 11 es una vista esquemática de los componentes del sistema de almacenamiento térmico de la Figura 9

durante una fase de expansión (descarga), que utiliza un intercambiador de calor directo con un medio de almacenamiento térmico sólido.

### Descripción detallada

5 A continuación, se describirán varios aparatos o procesos para proporcionar un ejemplo de una realización de cada invención reivindicada. Ninguna realización descrita a continuación limita cualquier invención reivindicada y cualquier invención reivindicada puede cubrir procesos o aparatos que difieran de los descritos a continuación. Las invenciones reivindicadas no se limitan a aparatos o procesos que tienen todas las características de cualquier aparato o proceso descritos a continuación ni a características comunes a múltiples o todos los aparatos descritos a continuación. Es posible que un aparato o proceso descrito a continuación no sea una realización de ninguna invención reivindicada. Cualquier invención desvelada en un aparato o proceso descrito a continuación que no se reivindique en este documento puede ser objeto de otro instrumento de protección, por ejemplo, una solicitud de patente continua, y los solicitantes, inventores y/o propietarios no tienen la intención de abandonar, negar o dedicar al público cualquier invención de este tipo mediante su divulgación en el presente documento. El alcance de la invención se define mediante las reivindicaciones.

20 La energía producida por algunos tipos de fuentes de energía, como molinos de viento, paneles solares y similares, puede tender a producirse durante ciertos períodos (por ejemplo, cuando hace viento o sol, respectivamente) y no producirse durante otros períodos (si no hay viento, es de noche, etc.). Sin embargo, la demanda de energía puede no coincidir siempre con los períodos de producción y puede ser útil almacenar la energía para su uso posterior. De manera similar, puede ser útil almacenar la energía generada usando generadores de energía convencionales (por ejemplo, centrales eléctricas de carbón, gas y/o nucleares) para ayudar a facilitar el almacenamiento de la energía generada durante períodos no pico (por ejemplo, períodos en los que el suministro de electricidad podría ser mayor que la demanda y/o cuando el coste de la electricidad es relativamente alto) y permiten que la energía se utilice durante los períodos pico (por ejemplo, cuando la demanda de electricidad puede ser igual o mayor que el suministro y/o cuando el coste de la electricidad es relativamente alto).

30 Como se describe en el presente documento, comprimir y almacenar un gas (tal como aire), usando un sistema de almacenamiento de energía de gas comprimido adecuado, es una forma de almacenar energía para su uso posterior. Por ejemplo, durante las horas no pico, la energía (es decir, electricidad) se puede utilizar para accionar compresores y comprimir un volumen de gas a una presión relativamente alta, deseada para su almacenamiento. El gas puede almacenarse a continuación a la presión relativamente alta dentro de cualquier contenedor o recipiente, tal como un acumulador adecuado. Para extraer la energía almacenada, el gas presurizado puede liberarse del acumulador y usarse para accionar cualquier aparato expansor adecuado o similar y, finalmente, usarse para accionar un generador o similares para producir electricidad. La cantidad de energía por unidad de volumen de almacenamiento que se puede almacenar en un sistema de almacenamiento de energía de gas comprimido dado puede estar relacionada con la presión a la que se comprime/almacena el gas, con un almacenamiento a mayor presión que generalmente facilita un mayor almacenamiento de energía. Sin embargo, contener gases a presiones relativamente altas en sistemas convencionales, tal como entre aproximadamente 45,6-151,99 bar (45-150 atm), puede requerir recipientes de almacenamiento/recipientes a presión relativamente resistentes, especializados y, a menudo, relativamente costosos.

45 Cuando el gas se comprime para su almacenamiento (por ejemplo, durante un modo de carga), su temperatura tiende a aumentar, y si el gas pasa a través de múltiples etapas de compresión, su temperatura puede aumentar con cada etapa. Además, algunos compresores pueden tener un intervalo de temperatura de entrada preferido en el que operan con un nivel deseado de eficiencia. El gas que se ha comprimido en una etapa de compresión puede, en algunos sistemas, calentarse a una temperatura que esté por encima de una temperatura de entrada deseada para una etapa de compresiones posterior. Puede ser ventajoso reducir la temperatura del gas que sale de una etapa de compresión aguas arriba antes de que alcance una etapa de compresión posterior.

50 De manera similar, cuando el gas comprimido se extrae de un acumulador y se expande para generar electricidad (por ejemplo, cuando está en un modo de descarga), su temperatura tiende a disminuir, y si el gas pasa a través de múltiples etapas de expansión, su temperatura puede disminuir con cada etapa. Además, algunos expansores pueden tener un intervalo de temperatura de entrada preferido en el que operan con un nivel deseado de eficiencia. El gas que se ha expandido en una etapa de expansión puede, en algunos sistemas, enfriarse a una temperatura que esté por debajo de una temperatura de entrada deseada para una etapa de expansión posterior. Puede ser ventajoso aumentar la temperatura del gas que sale de una etapa de expansión aguas arriba antes de que alcance una etapa de expansión posterior.

60 Opcionalmente, el calor que se retira/extrae del gas que sale de una o más etapas de compresión cuando el sistema está en un modo de carga del sistema se puede almacenar en un subsistema de almacenamiento térmico adecuado, y preferiblemente ese calor/energía térmica se puede reintroducir en el gas que se extrae del acumulador y pasa a través de etapas de expansión adecuadas durante el modo de descarga. Esto puede ayudar a mejorar la eficiencia general de un sistema de almacenamiento de energía de gas comprimido. Esto también puede ayudar a reducir y/o eliminar la necesidad de disipadores/fuentes de calor u otros aparatos para disipar el calor cuando está en el modo de carga y/o suministrar calor nuevo cuando está en el modo de descarga. La energía térmica/calor que se extrae del

gas comprimido se puede almacenar en cualquier aparato de almacenamiento térmico adecuado, incluyendo los descritos en el presente documento.

5 Si bien el término "pozo" se usa por conveniencia, la geometría real de la estructura puede variar dependiendo de las técnicas de construcción utilizadas, y puede adoptar la forma de una disminución, cámara u otra estructura de este tipo, y puede ser sustancialmente vertical o puede estar inclinada, y/o puede ser generalmente lineal o puede tener una geometría curvada o variable.

10 Haciendo referencia a la Figura 1, un ejemplo de un sistema de almacenamiento de energía de gas comprimido compensado hidrostáticamente 10A, que se puede utilizar para comprimir, almacenar y liberar un gas, incluye un acumulador 12 que está ubicado bajo tierra (aunque en otra realización el acumulador puede ubicarse sobre el suelo). En este ejemplo, el acumulador 12 sirve como una cámara para contener tanto gas comprimido como un líquido (tal como agua) y puede incluir cualquier tipo adecuado de recipiente a presión o tanque o, como en este ejemplo, puede ser una cueva o cámara bajo tierra que está dentro del suelo 200. En esta realización, el acumulador 12 está revestido, por ejemplo, usando hormigón, metal, plástico y combinaciones de los mismos, o similares, para ayudar a que sea sustancialmente impermeable a gases y/o líquidos para ayudar a evitar la salida no deseada de gas o líquido desde el interior 23. En otra realización, el acumulador es preferiblemente impermeable al gas y/o líquido sin requerir un revestimiento.

20 El acumulador 12 puede tener cualquier configuración adecuada y, en este ejemplo, incluye una pared superior 13 y una pared inferior opuesta 15 que están separadas entre sí por una altura de acumulador 17. Las paredes superior e inferior 13 y 15 pueden tener cualquier configuración adecuada, incluyendo curvada, arqueada, en ángulo y similares, y en el ejemplo ilustrado se muestran como superficies generalmente planas, que son generalmente paralelas a un plano de referencia horizontal 19. El acumulador 12 también tiene una anchura del acumulador (no mostrada, medida en la página como se ilustra en la Figura 1). Las paredes superior e inferior 13 y 15, junto con una o más paredes laterales 21 definen al menos parcialmente un interior 23 del acumulador 12, que tiene un volumen del acumulador.

30 El acumulador 12 en una realización dada del sistema 10A puede dimensionarse en función de una variedad de factores (por ejemplo, la cantidad de gas a almacenar, el espacio disponible en una ubicación dada, etc.) y puede, en algunos ejemplos tener entre aproximadamente 1.000 m<sup>3</sup> y aproximadamente 2.000.000 m<sup>3</sup> o más. Por ejemplo, en esta realización, el acumulador 12 contiene una capa de gas comprimido almacenado 14 encima de una capa de líquido 16, y su volumen (y, por lo tanto, capacidad) se puede seleccionar en función de la cantidad de gas 14 que se almacenará, la duración del almacenamiento requerido para el sistema 10A y otros factores adecuados que pueden estar relacionados con la capacidad u otras características de una fuente de alimentación y/o carga de alimentación adecuada (véase fuente de alimentación/carga S/L en la Figura 2) con las que el sistema 10A debe asociarse. La fuente de alimentación/carga S/L puede ser, en algunos ejemplos, una red eléctrica, una fuente de alimentación (que incluye fuentes renovables y opcionalmente no renovables) y similares. Asimismo, la fuente de alimentación y la carga de alimentación pueden ser completamente independientes entre sí (por ejemplo, la fuente de alimentación 25 puede ser una fuente renovable y la carga de alimentación puede ser la red).

40 Preferiblemente, el acumulador 12 puede colocarse bajo tierra o bajo el agua, pero, como alternativa, puede estar al menos parcialmente por encima del suelo. Colocar el acumulador 12 dentro del suelo 200, como se muestra, puede permitir que el peso del suelo/terreno ayude a sostener/reforzar las paredes 13, 15 y 21 del acumulador 12 y ayude a resistir cualquier fuerza que actúe hacia fuera que se ejerza sobre las paredes 13, 15 y 21 del interior 23 del acumulador. Su profundidad en el suelo se establece de acuerdo con las presiones a las que se pone en funcionamiento de manera más eficiente el equipo de compresión/expansión que se va a usar, la geología en el área circundante y similares.

50 El gas que se va a comprimir y almacenar en el acumulador 12 puede ser cualquier gas adecuado, incluyendo, pero sin limitación, aire, nitrógeno, gases nobles y combinaciones de los mismos y similares. El uso de aire puede ser preferible en algunas realizaciones, ya que una cantidad deseada de aire puede introducirse en el sistema desde los alrededores, el entorno ambiental y el gas/aire que se libera desde dentro del acumulador 12 pueden ventilarse de manera similar al entorno ambiental, opcionalmente sin requerir un tratamiento adicional. En esta realización, el gas comprimido 14 es aire atmosférico comprimido y el líquido es agua.

55 Opcionalmente, para ayudar a proporcionar acceso al interior del acumulador 12, por ejemplo, para su uso durante la construcción del acumulador y/o para permitir el acceso para su inspección y/o mantenimiento, el acumulador 12 puede incluir al menos una abertura que puede sellarse de una manera generalmente hermética al aire/gas cuando el sistema 10A está en uso. En este ejemplo, el acumulador 12 incluye una abertura primaria 27 que se proporciona en la pared superior 13. La abertura primaria 27 puede ser de cualquier tamaño adecuado y puede tener un área de sección transversal (tomada en el plano 19) que sea adecuada basándose en los requisitos específicos de una realización dada del sistema 10A. En una realización, el área de sección transversal está entre aproximadamente 0,75 m<sup>2</sup> y aproximadamente 80 m<sup>2</sup>, pero puede ser mayor o menor en una realización dada.

65 Cuando el sistema 10A está en uso, la abertura primaria 27 puede sellarse usando cualquier tipo adecuado de tabique que pueda funcionar como un miembro de sellado adecuado. En la realización de la Figura 1, el sistema 10A incluye

un tabique en forma de un mamparo 24 que cubre la abertura primaria 27. Algunos ejemplos de particiones adecuadas se describen en los documentos PCT/CA2018/050112 y PCT/CA2018/050282.

5 Cuando el mamparo 24 está en su lugar, como se muestra en la Figura 1, se puede asegurar a y preferiblemente sellarse con la pared del acumulador, en esta realización, la pared superior 13, usando cualquier mecanismo adecuado para ayudar a sellar y encerrar el interior 23. En otras realizaciones, el mamparo 24 puede tener una configuración diferente, adecuada.

10 El mamparo 24 puede fabricarse *in situ*, o puede fabricarse en unas instalaciones exteriores, y puede estar hecho de cualquier material adecuado, incluyendo, hormigón, metal, plásticos, compuestos y similares. En la realización ilustrada, el mamparo 24 está ensamblado *in situ* en la interfaz entre un pozo 18 y el acumulador 12 de múltiples piezas de hormigón armado. En esta realización, el pozo 18 se ilustra esquemáticamente como una columna vertical generalmente lineal. Como alternativa, el pozo 18 puede ser un pozo inclinado generalmente lineal o, preferiblemente, puede ser una configuración de tipo curva y/o generalmente en espiral/helicoidal y que puede denominarse pozo o, en general, disminución. Algunas realizaciones pueden incluir una disminución configurado generalmente en espiral que se enrolla desde un extremo superior a un extremo inferior y puede tener una función y atributos análogos a los del pozo vertical 18 de la Figura 1 a pesar de tener una configuración geométrica diferente. Los análisis del pozo/disminución 18 y sus finalidades en una realización pueden aplicarse a otras realizaciones descritas en el presente documento.

20 En la realización de la Figura 1, la abertura primaria 27 se proporciona en la superficie superior 13 del acumulador 12. Como alternativa, en otras realizaciones, la abertura primaria 27 y cualquier división asociada pueden proporcionarse en diferentes partes del acumulador 12, incluyendo, por ejemplo, en una pared lateral (tal como la pared lateral 21 como se muestra en la Figura 3), en una superficie inferior (tal como la superficie inferior 15) u otra ubicación adecuada. La ubicación de la abertura primaria 27 y el tabique asociado, se pueden seleccionar basándose en una variedad de factores que incluyen, por ejemplo, las condiciones del suelo y subterráneas, la disponibilidad de estructuras existentes (por ejemplo, si el sistema 10A se está adaptando a algunos espacios existentes, tales como minas, canteras, instalaciones de almacenamiento y similares), las presiones operativas, configuraciones de pozo y similares. Por ejemplo, algunos aspectos de los sistemas 10A descritos en el presente documento pueden adaptarse a cámaras subterráneas preexistentes, que pueden haberse construido con aberturas en sus paredes laterales, suelos y similares. La utilización de algunas de estas formaciones existentes puede ayudar a facilitar la construcción y/o adaptación de las cámaras usadas en el sistema y puede reducir o eliminar la necesidad de formar aberturas adicionales en las superficies superiores de las cámaras. Reducir el número total de aberturas en el acumulador puede ayudar a facilitar el sellado y puede ayudar a reducir las posibilidades de fugas y similares. En otras realizaciones, los componentes de los sistemas descritos en el presente documento pueden construirse específicamente para los fines descritos y pueden configurarse de manera que ayuden a facilitar tanto la construcción como el funcionamiento de los sistemas.

40 Cuando la abertura primaria 27 se extiende a lo largo de la pared lateral 21 del acumulador 12 como se muestra en la realización de la Figura 3, puede colocarse de tal manera que entre en contacto solo con la capa de gas 14 (es decir, hacia la parte superior del acumulador 12), en contacto solo con la capa de líquido 16 (es decir, sumergida dentro de la capa de líquido 16 y hacia la parte inferior del acumulador) y/o por una combinación tanto de la capa de gas 14 como de la capa de líquido 16 (es decir, parcialmente sumergida y parcialmente no sumergida en el líquido). La posición específica de la superficie libre de la capa de líquido 16 (es decir, la interfaz entre la capa de líquido 16 y la capa de gas 14) puede cambiar mientras el sistema 10 está en uso a medida que se fuerza el gas (haciendo que la capa de líquido caiga) y/o se extrae del acumulador (permitiendo que el nivel de líquido aumente).

50 Cuando el acumulador 12 está en uso, al menos una de la capa de gas presurizado 14 y la capa de líquido 16 puede entrar en contacto y ejercer presión sobre la superficie interior 29 del mamparo 24, lo que dará como resultado una fuerza interna del acumulador que actúa generalmente hacia fuera (hacia arriba en esta realización), representada por la flecha 41 en la Figura 1, que actúa sobre el mamparo 24. La magnitud de la fuerza interna 41 del acumulador que actúa sobre el tabique puede ser al menos parcialmente dependiente de la presión del gas 14 y del área de sección transversal (tomada en el plano 19) de la superficie inferior 29. Para un área de superficie inferior 29 dada, la magnitud de la fuerza interna 41 del acumulador puede variar generalmente de manera proporcional con la presión del gas 14.

55 En algunas realizaciones, por ejemplo, si el sistema de almacenamiento de energía de gas comprimido no está compensado hidrostáticamente, el tabique puede estar configurado para resistir sustancialmente toda la fuerza interna 41 del acumulador y/o puede reforzarse con el suelo 200 u otras estructuras adecuadas. Como alternativa, se puede aplicar una fuerza que actúa hacia dentro (hacia abajo en esta realización) a la superficie exterior 31 del mamparo 24 para ayudar al menos parcialmente a compensar y/o contrarrestar la fuerza interna 41 del acumulador. La aplicación de una contrafuerza de esta naturaleza puede ayudar a reducir la fuerza neta que actúa sobre el mamparo 24 mientras el sistema 10 está en uso. Esto puede ayudar a facilitar el uso de un mamparo 24 con tolerancias de presión más bajas que las que se requerirían si el mamparo 24 tuviera que resistir toda la magnitud de la fuerza interna 41 del acumulador. Esto puede permitir que el mamparo 24 sea relativamente más pequeño, más ligero y menos costoso. Esta disposición también puede ayudar a reducir las posibilidades de que el mamparo 24 falle mientras el sistema 10 está en uso. Opcionalmente, se puede crear una contrafuerza adecuada sometiendo la superficie superior 31 a un

entorno presurizado, tal como un gas o líquido presurizado o el peso distribuido de una pila de materia sólida que está en contacto con la superficie superior 31, y calibrar la presión que actúa sobre la superficie superior 31 (basándose en el área de sección transversal relativa de la superficie superior 31 y la presión que actúa sobre la superficie inferior 29 ) de modo que la contrafuerza resultante, mostrada por la flecha 46 en la Figura 1, tenga una magnitud deseable. En algunas configuraciones, la magnitud de la contrafuerza 46 puede estar entre aproximadamente el 80 % y aproximadamente el 99 % de la fuerza interna 41 del acumulador y puede estar opcionalmente entre 5 aproximadamente el 90 % y aproximadamente el 97 % y puede ser aproximadamente igual a la magnitud de la fuerza interna 41 del acumulador.

En la presente realización, el sistema 10 incluye un pozo 18 que está configurado de forma que su extremo inferior 43 está en comunicación con la abertura 27 del acumulador 12, y su extremo superior 48 que está separado del extremo inferior 43 por una altura de pozo 50. Al menos una pared lateral 52 se extiende desde el extremo inferior 43 hasta el extremo superior 48 y define al menos parcialmente un interior 54 del pozo que tiene un volumen. En esta realización, el pozo 18 es generalmente lineal y se extiende a lo largo de un eje de pozo 51 generalmente vertical, pero puede tener otras configuraciones, tal como una disminución lineal, curva o helicoidal, en otras realizaciones. El extremo superior 48 del pozo 18 puede estar abierto a la atmósfera A, como se muestra, o puede estar tapado, cerrado o sellado, de otra manera. En esta realización, el pozo 18 es generalmente cilíndrico con un diámetro 56 de aproximadamente 3 metros y, en otras realizaciones, el diámetro 56 puede estar entre aproximadamente 2 m y aproximadamente 15 m o más, o puede estar entre aproximadamente 5 m y 12 m o entre aproximadamente 2 m y aproximadamente 5 m. En tales disposiciones, el interior 52 del pozo 18 puede alojar aproximadamente 1.000 - 150.000 m<sup>3</sup> de agua.

En esta disposición, el mamparo 24 se coloca en la interfaz entre el pozo 18 y el acumulador 12 y la superficie exterior 31 (o al menos una parte de la misma) cierra y sella el extremo inferior 43 del pozo 18. Preferiblemente, los otros límites del pozo 18 (por ejemplo, la pared lateral 52) son generalmente impermeables a líquidos, de modo que el interior 54 se pueda llenar con, y generalmente pueda retener, una cantidad de un líquido, tal como agua 20. Un conducto de suministro/reabastecimiento de agua 58 puede proporcionar una comunicación fluida entre el interior 54 del pozo 18 y una fuente/sumidero de agua 150 para permitir que el agua fluya hacia dentro o fuera del interior del pozo 18 según sea necesario cuando el sistema 10 está en los modos de funcionamiento. Opcionalmente, puede proporcionarse un aparato de control de flujo 59 (como se muestra en la Figura 1) en el conducto de suministro/reabastecimiento de agua 58. El aparato de control de flujo 59 puede incluir una válvula, compuerta de esclusa u otro mecanismo adecuado. El aparato de control de flujo 59 puede estar abierto mientras el sistema 10 está en los modos de funcionamiento para ayudar a facilitar el flujo de agua deseado entre el pozo 18 y la fuente/sumidero de agua 150. Opcionalmente, el aparato de control de flujo 59 se puede cerrar para aislar de manera fluida el pozo 18 y la fuente/sumidero de agua 150 si se desea. Por ejemplo, el aparato de control de flujo 59 puede cerrarse para ayudar a facilitar el drenaje del interior 54 del pozo 18 para inspección, mantenimiento o similares.

La fuente/sumidero de agua 150 puede ser de cualquier naturaleza adecuada y puede incluir, por ejemplo, una conexión a un suministro o depósito de agua municipal, un depósito construido a propósito, un tanque de almacenamiento, una torre de agua y/o una masa de agua natural tal como un lago, río u océano, agua subterránea o un acuífero. En el ejemplo ilustrado, la fuente/sumidero de agua 150 se ilustra como un lago. Permitir que el agua fluya a través del conducto 58 puede ayudar a garantizar que se pueda mantener una cantidad suficiente de agua 20 con el pozo 18 y que el exceso de agua 20 se pueda drenar del pozo 18. El conducto 58 puede conectarse al pozo 18 en cualquier ubicación adecuada y, preferiblemente, está conectado hacia el extremo superior 48. Preferiblemente, el conducto 58 puede colocarse y configurarse de modo que el agua fluirá desde la fuente/sumidero 150 al pozo 18 por gravedad y no necesitará incluir bombas alimentadas externas u otro aparato de transporte. Aunque el conducto 58 se representa en las figuras como horizontal, puede ser no horizontal.

En este ejemplo, el agua 20 en el pozo 18 se apoya contra el exterior del mamparo 24 y, de este modo, se soporta encima del mamparo 24. La cantidad de presión que actúa sobre la altura 50 de la columna de agua.

La capa de aire comprimido almacenado 14 subyacente al mamparo 24 sirve, junto con la técnica mediante la cual el mamparo 24 se fija de manera estable al entorno en el suelo, en una alternativa a la piedra circundante en el suelo en la interfaz entre el acumulador 12 y el pozo 18, para soportar el mamparo 24 y la cantidad de líquido contenido dentro del pozo 18.

Preferiblemente, como se describirá, la presión a la que la cantidad de agua 20 se apoya contra el mamparo 24 puede mantenerse de modo que la magnitud de la contrafuerza 46 sea igual, o casi igual, a la magnitud de la fuerza interna 41 del acumulador ejercida por el gas comprimido en la capa de gas comprimido 14 almacenada en el acumulador 12. En la realización ilustrada, el sistema 10 se opera para mantener un diferencial de presión (es decir, la diferencia entre la presión del gas dentro del acumulador 12 y la presión hidrostática en el extremo inferior 43 del pozo 18) por debajo de una cantidad umbral, una cantidad preferiblemente entre 0 y 4 bar, tal como 2 bar - la fuerza neta resultante que actúa sobre el mamparo 24. Mantener el diferencial de presión neta y la magnitud de fuerza neta relacionada, por debajo de un límite de diferencia de presión neta umbral puede ayudar a reducir la necesidad de que el mamparo 24 sea muy grande y altamente reforzado y, por consiguiente, relativamente caro. En realizaciones alternativas, el uso de un mamparo 24 relativamente más fuerte y/o una técnica de instalación para fijar el mamparo 24 al acumulador 12

puede ayudar a soportar una presión y un diferencial de presión neta relativamente más altos, pero puede ser más caro de construir e instalar, siendo todo lo demás igual. Asimismo, la altura 17 del acumulador 12 puede ser importante para el diferencial de presión: si la altura 17 es de aproximadamente 10 metros, entonces la presión ascendente máxima sobre el mamparo 24 será 1 bar más alta que la presión descendente sobre el mamparo 24 del agua 20 en el pozo 18. El diferencial de presión máximo que experimenta el mamparo 24 puede aumentar en aproximadamente 0,1 bar por cada metro que aumenta la altura 17 del acumulador 12.

Cada uno del pozo 18 y el acumulador 12 pueden formarse en el suelo 200 usando técnicas similares a las usadas para producir pozos de minas y otras estructuras subterráneas.

Para ayudar a mantener fuerzas sustancialmente iguales hacia fuera y hacia dentro 41 y 46 respectivamente en el mamparo 24, el sistema 10 puede utilizarse para ayudar a mantener un diferencial deseado en las presiones del acumulador y del eje que está por debajo de una cantidad umbral. Estas presiones pueden controlarse añadiendo o eliminando gas del acumulador 12 de la capa de gas comprimido 14 usando cualquier subsistema de compresor/expansor 100 adecuado y, a su vez transportar agua entre la capa de líquido 16 en el acumulador 12 y el agua 20 en el pozo 18.

En esta realización, el sistema 10A incluye una trayectoria de flujo de gas que proporciona comunicación fluida entre el subsistema de compresor/expansor 100 y el acumulador 12. La trayectoria de flujo de gas puede incluir cualquier número adecuado de conductos, pasos, mangueras, tuberías y similares y cualquier equipo adecuado se puede proporcionar en (es decir, en comunicación de flujo de aire con) la trayectoria de flujo de gas, incluyendo, compresores, extractores, intercambiadores de calor, válvulas, sensores, caudalímetros y similares. Haciendo referencia al ejemplo de la Figura 1, en este ejemplo la trayectoria de flujo de gas incluye un conducto de gas 22 que se proporciona para transportar aire comprimido entre la capa de gas comprimido 14 y el subsistema de compresor/expansor 100, lo que puede convertir la energía potencial del aire comprimido en y a partir de electricidad. De manera similar, un conducto de suministro de líquido 40 está configurado para transportar agua entre la capa de líquido 16 y el agua 20 en el pozo 18. Cada conducto 22 y 40 puede estar formado por cualquier material adecuado, incluyendo metal, la roca circundante, plástico y similares.

En este ejemplo, el conducto de gas 22 tiene un extremo superior 60 que está conectado al subsistema de compresor/expansor 100 y un extremo inferior 62 que está en comunicación con la capa de gas comprimido 14. El conducto de gas 22 está, en este ejemplo, colocado dentro y se extiende dentro del pozo 18 y pasa a través del mamparo 24 para alcanzar la capa de gas comprimido 14. Colocar el conducto de gas 22 dentro del pozo 18 puede eliminar la necesidad de perforar un segundo pozo y/o trayectoria de acceso desde la superficie al acumulador 12. El posicionamiento en la realización actual también puede dejar el conducto de gas 22 generalmente expuesto para su inspección y mantenimiento, por ejemplo, usando un buzo o robot que pueda desplazarse a través del agua 20 dentro del pozo 18 y/o drenando parte o toda el agua del pozo 18. Como alternativa, como se muestra usando líneas discontinuas en la Figura 1 y en la realización de la Figura 3, el conducto de gas 22 puede ser externo al pozo 18. Colocar el conducto de gas 22 fuera del pozo 18 puede ayudar a facilitar la colocación remota del subsistema de compresor/expansor 100 (es decir, no es necesario que esté cerca del pozo 18) y puede no requerir que el exterior del conducto de gas 22 (o su alojamiento) esté sumergido en agua. Esto también puede eliminar la necesidad de que el conducto de gas 22 pase a través del tabique que separa el acumulador 12 del pozo 18.

El conducto de suministro de líquido 40 está, en este ejemplo, configurado con un extremo inferior 64 que está sumergido en la capa de agua 16 mientras el sistema 10 está en uso y un extremo superior remoto 66 que está en comunicación con el interior 54 del pozo 18. En esta configuración, el conducto de suministro de líquido 40 puede facilitar el intercambio de líquido entre la capa de líquido 16 y el agua 20 en el pozo 18. Como se ilustra en la Figura 1, el conducto de suministro de líquido 40 puede pasar a través del mamparo 24 (como se describe en el presente documento) o, como alternativa, como se muestra usando líneas discontinuas, puede configurarse para proporcionar comunicación entre la capa de líquido 16 y el agua 20, pero no pasa a través del mamparo 24.

En esta disposición, a medida que se transfiere más gas a la capa de gas 14 durante un ciclo de acumulación, y su presión aumenta, en esta alternativa ligeramente, el agua en la capa de agua 16 puede desplazarse y forzarse hacia arriba a través del conducto de suministro de líquido 40 hacia el pozo 18 contra la presión hidrostática del agua 20 en el pozo 18. Más particularmente, el agua puede fluir preferiblemente con libertad desde la parte inferior del acumulador 12 y hacia el pozo 18 y, finalmente, puede intercambiarse con la fuente/sumidero de agua 150, a través de un conducto de reabastecimiento 58. Como alternativa, cualquier tipo adecuado de dispositivo de limitación o regulación de flujo (tal como una bomba, una válvula, placa de orificio y similares) pueden proporcionarse en el conducto de agua 40. Cuando se elimina el gas de la capa de gas 14, el agua puede ser forzada desde el pozo 18, a través del conducto de agua 40, para rellenar la capa de agua 16. El flujo a través del conducto de reabastecimiento 58 puede ayudar a garantizar que se pueda mantener una cantidad deseada de agua 20 dentro del pozo 18 a medida que el agua entra y sale de la capa de agua 16, ya que el exceso de agua 20 se puede drenar y el agua de reposición se puede suministrar al pozo 18. Esta disposición puede permitir que las presiones en el acumulador 12 y el pozo 18 al menos parcialmente, se reequilibren automáticamente a medida que se fuerza en y de libera el gas del interior del acumulador 12.

Preferiblemente, el extremo inferior 64 del conducto de suministro de líquido 40 se coloca de modo que esté y generalmente permanezca sumergido en la capa de líquido 16 mientras el sistema 10 está en los modos de funcionamiento, y no está en comunicación directa con la capa de gas 14. En el ejemplo ilustrado, la pared inferior 15 es plana y es generalmente horizontal (paralela al plano 19, u opcionalmente dispuesta para tener una pendiente máxima de entre aproximadamente el ,01 % y aproximadamente el 1 %, y opcionalmente entre aproximadamente el 0,5 % y aproximadamente el 1 %, desde la horizontal), y el extremo inferior 64 del conducto de suministro de líquido 40 se coloca cerca de la pared inferior 15. Si la pared inferior 15 no es plana o no es generalmente horizontal, el extremo inferior 64 del conducto de suministro de líquido 40 se ubica preferiblemente en un punto bajo del acumulador 12 para ayudar a reducir las posibilidades de que el extremo inferior 64 quede expuesto a la capa de gas 14.

De manera similar, para ayudar a facilitar la extracción del gas de la capa de gas, el extremo inferior 62 del conducto de gas 22 se sitúa preferentemente cerca de la pared superior 13, o si la pared superior 13 no es plana o generalmente horizontal en un punto alto del interior 23 del acumulador 12. Esto puede ayudar a reducir el atrapamiento de material de cualquier gas en el acumulador 12. Por ejemplo, si la pared superior 13 estuviera orientada en una pendiente, el punto en el que el conducto de gas 22 interactúa con la capa de gas (es decir, su extremo inferior 62) debe estar en un punto alto en el acumulador 12, para ayudar a evitar una retención significativa de gas.

En la realización de la Figura 1, el tabique incluye un mamparo 24 fabricado que se coloca para cubrir y, opcionalmente, sellar la abertura primaria 27 en el perímetro del acumulador. Como alternativa, en otras realizaciones, el tabique puede estar formado al menos parcialmente a partir de materiales naturales, tal como roca y similares. Por ejemplo, se puede formar un tabique adecuado dejando y/o dando forma a partes de roca natural para ayudar a formar al menos una parte del límite de presión entre el interior del acumulador y el pozo. Tales formaciones pueden tratarse, recubrirse o modificarse de otro modo para ayudar a garantizar que sean suficientemente impermeables a los gases para poder resistir las diferencias de presión operativa deseadas entre el interior del acumulador y el pozo. Esto puede llevarse a cabo, en algunas realizaciones, excavando selectivamente el pozo 18 y el acumulador 12 de modo que una parte de la roca circundante generalmente no se perturbe durante la excavación y construcción del pozo 18 y el acumulador 12. Como alternativa, la roca u otro material de este tipo puede reintroducirse en una ubicación adecuada dentro del acumulador 12 y/o el pozo 18 después de que se haya excavado previamente. Esto puede ayudar a reducir la necesidad de fabricar un mamparo separado e instalarlo dentro del sistema 10. En disposiciones de esta naturaleza, la abertura primaria 27 puede formarse como una abertura en una pared lateral 21 del acumulador 12 o, como alternativa, un lado del acumulador 12 puede estar sustancialmente abierto de modo que la abertura primaria 27 se extienda sustancialmente a toda la altura 17 del acumulador y forme sustancialmente un lado completo del acumulador 12.

Cuando el acumulador 12 está en uso, al menos una de la capa de gas presurizado 14 y la capa de líquido 16, o ambas, puede entrar en contacto y ejercer presión sobre la superficie interior 29 del mamparo 24, lo que dará como resultado una fuerza interna del acumulador que actúa generalmente hacia fuera (hacia arriba en esta realización), representada por la flecha 41 en la Figura 1, que actúa sobre el mamparo 24. La magnitud de la fuerza interna 41 del acumulador depende de la presión del gas 14 y del área de sección transversal (tomada en el plano 19) de la superficie interior 29. Para un área de superficie interior 29 dada, la magnitud de la fuerza interna 41 del acumulador puede variar generalmente de manera proporcional con la presión del gas 14.

Preferiblemente, se puede aplicar una fuerza que actúa hacia dentro (hacia abajo en esta realización) a la superficie exterior 31 del mamparo 24 para ayudar a compensar y/o contrarrestar la fuerza interna 41 del acumulador. La aplicación de una contrafuerza de esta naturaleza puede ayudar a reducir la fuerza neta que actúa sobre el mamparo 24 mientras el sistema 10 está en uso. Esto puede ayudar a facilitar el uso de un mamparo 24 con tolerancias de presión más bajas que las que se requerirían si el mamparo 24 tuviera que resistir toda la magnitud de la fuerza interna 41 del acumulador. Esto puede permitir que el mamparo 24 sea relativamente más pequeño, más ligero y menos costoso. Esta disposición también puede ayudar a reducir las posibilidades de que el mamparo 24 falle mientras el sistema 10 está en uso. Opcionalmente, se puede crear una contrafuerza adecuada sometiendo la superficie superior 31 a un entorno presurizado, tal como un gas o líquido presurizado que está en contacto con la superficie superior 31, y calibrar la presión que actúa sobre la superficie superior 31 (basándose en el área de sección transversal relativa de la superficie superior 31 y la presión que actúa sobre la superficie inferior 29) de modo que la contrafuerza resultante, mostrada por la flecha 46 en la Figura 1, tenga una magnitud deseable. En algunas configuraciones, la magnitud de la contrafuerza 46 puede estar entre aproximadamente el 80 % y aproximadamente el 99 % de la fuerza interna 41 del acumulador y puede estar opcionalmente entre aproximadamente el 90 % y aproximadamente el 97 % y puede ser aproximadamente igual a la magnitud de la fuerza interna 41 del acumulador.

En la presente realización, el sistema 10 incluye un pozo 18 que tiene un extremo inferior 43 que está en comunicación con la abertura 27 en la pared superior 13 del acumulador 12 y un extremo superior 48 que está separado del extremo inferior 43 por una altura 50 del pozo. Al menos una pared lateral 52 se extiende desde el extremo inferior 43 hasta el extremo superior 48 y define al menos parcialmente un interior 54 del pozo que tiene un volumen. En esta realización, el pozo 18 es generalmente lineal y se extiende a lo largo de un eje de pozo 51 generalmente vertical, pero puede tener otras configuraciones, tal como una disminución lineal o helicoidal, en otras realizaciones. El extremo superior 48 del pozo 18 puede estar abierto a la atmósfera A, como se muestra, o puede estar tapado, cerrado o sellado, de otra manera. En esta realización, el pozo 18 es generalmente cilíndrico con un diámetro 56 de aproximadamente

3 metros y, en otras realizaciones, el diámetro 56 puede estar entre aproximadamente 2 m y aproximadamente 15 m o más, o puede estar entre aproximadamente 5 m y 12 m o entre aproximadamente 2 m y aproximadamente 5 m. En tales disposiciones, el interior 52 del pozo 18 puede alojar aproximadamente 1.000 - 150.000 m<sup>3</sup> de agua. En otras realizaciones, el pozo no necesita ser cilíndrico y puede tener otras geometrías de sección transversal con el mismo diámetro hidráulico.

En esta disposición, el mamparo 24 se coloca en la interfaz entre el pozo 18 y el acumulador 12 y la superficie exterior 31 (o al menos una parte de la misma) cierra y sella el extremo inferior 43 del pozo 18. Preferiblemente, los otros límites del pozo 18 (por ejemplo, la pared lateral 52) son generalmente impermeables a líquidos, de modo que el interior 54 se pueda llenar con, y generalmente pueda retener, una cantidad de un líquido, tal como agua 20. Un conducto de suministro/reabastecimiento de agua 58 puede proporcionar una comunicación fluida entre el interior 54 del pozo 18 y una fuente/sumidero de agua 150 para permitir que el agua fluya hacia dentro o fuera del interior del pozo 18 según sea necesario cuando el sistema 10 está en uso. Opcionalmente, puede proporcionarse una válvula de control de flujo 59 (como se muestra en la Figura 1) en el conducto de suministro/reabastecimiento de agua 58. La válvula de control de flujo 59 puede estar abierta mientras el sistema 10 está en uso para ayudar a facilitar el flujo de agua deseado entre el pozo 18 y la fuente/sumidero de agua 150. Opcionalmente, la válvula de control de flujo 59 se puede cerrar para aislar de manera fluida el pozo 18 y la fuente/sumidero de agua 150 si se desea. Por ejemplo, la válvula de control de flujo 59 puede cerrarse para ayudar a facilitar el drenaje del interior 54 del pozo 18 para inspección, mantenimiento o similares.

La fuente/sumidero de agua 150 puede ser de cualquier naturaleza adecuada y puede incluir, por ejemplo, una conexión a un suministro o depósito de agua municipal, un depósito construido a propósito, un tanque de almacenamiento, una torre de agua y/o una masa de agua natural tal como un lago, río u océano, agua subterránea o un acuífero. En el ejemplo ilustrado, la fuente/sumidero de agua 150 se ilustra como un lago. Permitir que el agua fluya a través del conducto 58 puede ayudar a garantizar que se pueda mantener una cantidad suficiente de agua 20 con el pozo 18 y que el exceso de agua 20 se pueda drenar del pozo 18. El conducto 58 puede conectarse al pozo 18 en cualquier ubicación adecuada y, preferiblemente, está conectado hacia el extremo superior 48. Preferiblemente, el conducto 58 puede colocarse y configurarse de modo que el agua fluirá desde la fuente/sumidero 150 al pozo 18 por gravedad y no necesitará incluir bombas alimentadas externas u otro aparato de transporte. Aunque el conducto 58 se representa en las figuras como horizontal, puede ser no horizontal.

En este ejemplo, el agua 20 en el pozo 18 se apoya contra el exterior del mamparo 24 y, de este modo, se soporta encima del mamparo 24. La cantidad de presión que actúa sobre la superficie exterior 31 del mamparo 24 en este ejemplo variará con el volumen de agua 20 que se soporta, que para un diámetro dado 56 variará con la altura 50 de la columna de agua. En esta disposición, la magnitud de la contrafuerza 46 puede ser generalmente proporcional a la cantidad de agua 20 retenida en el pozo 18. Para aumentar la magnitud de la contrafuerza 46, se puede añadir más agua 20. Para reducir la magnitud de la contrafuerza 46, el agua 20 se puede retirar del espacio interior 54.

La capa de aire comprimido almacenado 14 subyacente al mamparo 24 sirve, junto con la técnica mediante la cual el mamparo 24 se fija de manera estable al entorno en el suelo, en una alternativa a la piedra circundante en el suelo en la interfaz entre el acumulador 12 y el pozo 18, para soportar el mamparo 24 y la cantidad de líquido contenido dentro del pozo 18.

Preferiblemente, como se describirá, la presión a la que la cantidad de agua 20 se apoya contra el mamparo 24 y puede mantenerse de modo que la magnitud de la contrafuerza 46 sea igual, o casi igual, a la magnitud de la fuerza interna 41 del acumulador ejercida por el gas comprimido en la capa de gas comprimido 14 almacenada en el acumulador 12. En la realización ilustrada, el sistema operativo 10 para mantener un diferencial de presión (es decir, la diferencia entre la presión del gas dentro del acumulador 12 y la presión hidrostática en el extremo inferior 43 del pozo 18) dentro de una cantidad umbral, una cantidad preferiblemente entre 0 y 4 bar, tal como 2 bar, la fuerza neta resultante que actúa sobre el mamparo 24 (es decir, la diferencia entre la fuerza interna 41 del acumulador y la contrafuerza 46) puede mantenerse por debajo de un límite de fuerza neta umbral predeterminado. Mantener el diferencial de presión neta y la magnitud de fuerza neta relacionada, por debajo de un límite de diferencia de presión neta umbral puede ayudar a reducir la necesidad de que el mamparo 24 sea muy grande y altamente reforzado y, por consiguiente, relativamente caro. En realizaciones alternativas, el uso de un mamparo 24 relativamente más fuerte y/o una técnica de instalación para fijar el mamparo 24 al acumulador 12 puede ayudar a soportar una presión y un diferencial de presión neta relativamente más altos, pero puede ser más caro de construir e instalar, siendo todo lo demás igual. Asimismo, la altura 17 del acumulador 12 puede ser importante para el diferencial de presión: si la altura 17 es de aproximadamente 10 metros, entonces la presión ascendente sobre el mamparo 24 será 1 bar más alta que la presión descendente sobre el mamparo 24 del agua 20 en el pozo 18.

Cada uno del pozo 18 y el acumulador 12 pueden formarse en el suelo 200 usando cualquier técnica adecuada, incluyendo técnicas que son como las usadas para producir pozos de mina y otras estructuras subterráneas.

Para ayudar a mantener fuerzas sustancialmente iguales hacia fuera y hacia dentro 41 y 46 respectivamente en el mamparo 24, el sistema 10 puede utilizarse para ayudar a mantener un diferencial deseado en las presiones del acumulador y del eje que está por debajo de una cantidad umbral. Estas presiones pueden controlarse añadiendo o

eliminando gas del acumulador 12 de la capa de gas comprimido 14 usando cualquier subsistema de compresor/expansor 100 adecuado y el agua puede transportarse entre la capa de líquido 16 y el agua 20 en el pozo 18.

5 En esta realización, se proporciona un conducto de gas 22 para transportar aire comprimido entre la capa de gas comprimido 14 y el subsistema de compresor/expansor 100, que puede convertir la energía del aire comprimido en y a partir de electricidad. De manera similar, un conducto de líquido 40 está configurado para transportar agua entre la capa de líquido 16 y el agua 20 en el pozo 18. Cada conducto 22 y 40 puede estar formado por cualquier material adecuado, incluyendo metal, plástico y similares.

10 En este ejemplo, el conducto de gas 22 tiene un extremo superior 60 que está conectado al subsistema de compresor/expansor 100 y un extremo inferior 62 que está en comunicación con la capa de gas 14. El conducto de gas 22 está, en este ejemplo, colocado dentro y se extiende dentro del pozo 18 y pasa a través del mamparo 24 para alcanzar la capa de gas 14. Colocar el conducto de gas 22 dentro del pozo 18 puede eliminar la necesidad de perforar  
15 un segundo pozo y/o punto de acceso desde la superficie al acumulador 12. Esta posición también puede dejar el conducto de gas 22 generalmente expuesto para su inspección y mantenimiento, por ejemplo, usando un buzo o robot que pueda desplazarse a través del agua 20 dentro del pozo 18 y/o drenando parte o toda el agua del pozo 18. Como alternativa, como se muestra usando líneas discontinuas en la Figura 1 y en la realización de la Figura 17, el conducto de gas 22 puede ser externo al pozo 18. Colocar el conducto de gas 22 fuera del pozo 18 puede ayudar a facilitar la  
20 colocación remota del subsistema de compresor/expansor 100 (es decir, no es necesario que esté cerca del pozo 18) y puede no requerir que el exterior del conducto de gas 22 (o su alojamiento) esté sumergido en agua. Esto también puede eliminar la necesidad de que el conducto de gas 22 pase a través del tabique que separa el acumulador 12 del pozo 18.

25 La Figura 2 es una vista esquemática de componentes de un ejemplo de un subsistema de compresor/expansor 100 para el sistema de almacenamiento de energía de gas comprimido 10 descrito en el presente documento. En este ejemplo, el subsistema de compresor/expansor 100 incluye un compresor 112 de única o múltiples etapas, accionado por un motor 110 que se alimenta, en una alternativa, usando electricidad de una red eléctrica o por una fuente de energía renovable o similar, y opcionalmente controlado usando un controlador adecuado 118. El compresor 112 es  
30 accionado por el motor 110 durante una etapa de acumulación de operación, y aspira aire atmosférico A, comprime el aire y lo empuja hacia abajo en el conducto de gas 22 para su almacenamiento en el acumulador 12 (a través del subsistema de almacenamiento térmico 120 (véase Figura 1, por ejemplo y las Figuras 9-11 para realizaciones alternativas) en realizaciones que incluyen el mismo). El subsistema de compresor/expansor 100 también incluye un expansor 116 accionado por aire comprimido que sale del conducto de gas 22 durante una etapa de expansión de  
35 operación y, a su vez, accionando el generador 114 para generar electricidad. Después de accionar el expansor 116, el aire expandido se transporta para salir a la atmósfera A. Aunque se muestran como aparatos separados, el compresor 112 y el expansor 116 pueden ser parte de un aparato común, al igual que un aparato híbrido de motor/generador. Opcionalmente, el motor y el generador pueden proporcionarse en una sola máquina.

40 El aire que entra o sale del subsistema 100 compresor/expansor puede acondicionarse antes de su entrada o salida. Por ejemplo, el aire que sale o entra en el subsistema de compresor/expansor 100 puede calentarse y/o enfriarse para reducir los impactos ambientales no deseados o para hacer que el aire esté a una temperatura adecuada para un intervalo operativo eficiente de una etapa del compresor 112 o expansor 116. Por ejemplo, el aire (u otro gas que se use) que sale de una etapa dada de un compresor 112 puede enfriarse antes de entrar en una etapa de compresor  
45 posterior y/o el acumulador 12, y/o el aire puede calentarse antes de entrar en una etapa dada de un expansor 116 y puede calentarse entre etapas de expansión en sistemas que incluyen dos o más etapas de expansor dispuestas en serie.

50 El controlador 118 opera el subsistema de compresor/expansor 100 para cambiar entre las etapas de acumulación y expansión según sea necesario, incluyendo válvulas operativas para evitar o permitir la liberación de aire comprimido del conducto de gas 22 bajo demanda.

Opcionalmente, el sistema 10A puede incluir un subsistema de almacenamiento térmico 120 (ilustrado esquemáticamente en la Figura 1) que está configurado para transferir calor/energía térmica fuera y preferiblemente  
55 también dentro del gas que fluye a través de la trayectoria de flujo de gas entre el acumulador y el subsistema de compresor/expansor 100. Preferiblemente, el subsistema de almacenamiento térmico 120 está configurado para extraer energía térmica del gas que sale de al menos una de las una o más etapas de compresión en un subsistema de compresor/expansor dado 100, y preferiblemente puede estar configurado para extraer calor del gas que sale de cada etapa de compresión 112. La energía térmica extraída puede almacenarse durante un período y luego reintroducirse en el gas a medida que se retira del acumulador 12 y pasa a través de uno o más expansores 116.  
60

La Figura 3 es una representación esquemática de otro ejemplo de un sistema de almacenamiento de energía de gas comprimido 10B con un subsistema de almacenamiento térmico 120 que se proporciona en la trayectoria de flujo de gas entre el subsistema de compresor/expansor 100 y el acumulador 12. El sistema de almacenamiento de energía de gas comprimido 10B es análogo al sistema de almacenamiento de energía de gas comprimido 10A, y características similares se identifican usando caracteres de referencia similares. Aunque se explica un ejemplo en el presente

documento, se pueden utilizar otros subsistemas de almacenamiento térmico adecuados en otras realizaciones, incluyendo aquellos descritos en los documentos PCT/CA2018/050112 y PCT/CA2018/050282. El subsistema de almacenamiento térmico 120 también se puede usar en combinación con los sistemas 10A y 10B, y otros sistemas descritos en el presente documento, y se pueden usar otros ejemplos de subsistemas de almacenamiento térmico en combinación con estos sistemas.

En el ejemplo de la Figura 3, el conducto de gas 22 que transporta el gas comprimido entre la capa de gas comprimido 14 y el subsistema de compresor/expansor 100 incluye una parte superior 22A que se extiende entre el subsistema de compresor/expansor 100 y el subsistema de almacenamiento térmico 120, y una parte inferior 22B que se extiende entre el subsistema de almacenamiento térmico 120 y el acumulador 12.

El subsistema de almacenamiento térmico 120 puede incluir cualquier tipo adecuado de aparato de almacenamiento térmico, incluyendo, por ejemplo, aparatos de almacenamiento latente y/o sensible. El aparato o aparatos de almacenamiento térmico pueden configurarse como aparato o aparatos de almacenamiento térmico de una sola etapa, de dos etapas y/o múltiples etapas. De manera similar, el subsistema de almacenamiento térmico 120 puede incluir uno o más intercambiadores de calor (para transferir energía térmica dentro y/o fuera del subsistema de almacenamiento térmico 120) y uno o más aparatos de almacenamiento (que incluyen, por ejemplo, depósitos de almacenamiento para contener fluidos de almacenamiento térmico y similares). Cualquiera de los aparatos de almacenamiento térmico puede estar separado o cerca de su intercambiador de calor asociado y también puede incorporar el intercambiador de calor asociado en un único aparato compuesto (es decir, en el que el intercambiador de calor está integrado dentro del depósito de almacenamiento). Preferiblemente, los intercambiadores de calor utilizados en el subsistema de almacenamiento térmico 120 se proporcionan en la trayectoria de flujo de gas entre el subsistema de compresor/expansor y el acumulador y son operables para transferir energía térmica entre el gas comprimido que viaja a través de la trayectoria de flujo de gas y los medios de almacenamiento térmico (que puede ser un sólido, líquido o gas).

Los intercambiadores pueden ser cualquier tipo adecuado de intercambiador de calor para un tipo dado de medio de almacenamiento térmico y pueden incluir, por ejemplo, intercambiadores de calor indirectos o intercambiadores de calor directos. El tipo preferible de intercambiador de calor para un sistema dado puede depender de una variedad de factores y/o elementos del sistema. Por ejemplo, un intercambiador de calor directo (es decir, que permite el contacto directo entre los dos lados/corrientes del intercambiador) puede ayudar a facilitar una mayor conductividad entre el gas comprimido y los medios de almacenamiento térmico y puede, en algunas circunstancias, ser relativamente más eficiente en la transferencia de energía térmica entre los dos que un intercambiador de calor indirecto comparable. Se puede preferir un intercambiador de calor directo cuando se usan medios de almacenamiento térmico sólidos, tal como arena, rocas o grava y también pueden usarse en combinación con un líquido de almacenamiento térmico si tanto las corrientes de gas como de líquido se mantienen en condiciones adecuadas para ayudar a mantener el líquido de almacenamiento térmico en su estado líquido, y para evitar la ebullición y/o la mezcla de la corriente de gas y corriente de líquido.

Un intercambiador de calor indirecto puede ser preferible en sistemas en los que el gas comprimido debe mantenerse separado de los medios de almacenamiento térmico, tal como si el medio de almacenamiento térmico necesita mantenerse en condiciones específicas, incluida la presión y/o si ambas corrientes en el intercambiador de calor son gaseosas (o hervirían si fueran líquidas) de modo que habría una mezcla de los medios de almacenamiento térmico y el gas de sistema comprimido dentro del intercambiador de calor.

En la realización ilustrada, las partes sustanciales del subsistema de almacenamiento térmico 120 están ubicadas bajo tierra, lo que puede ayudar a reducir el uso de terrenos sobre tierra y puede ayudar a facilitar el uso del peso de la tierra/roca para ayudar a contener la presión en el depósito de almacenamiento. Es decir, la presión que actúa hacia fuera dentro del depósito de almacenamiento que contiene los medios de almacenamiento térmico calientes y opcionalmente sin calentar, puede equilibrarse sustancialmente por las fuerzas que actúan hacia dentro ejercidas por la tierra y la roca que rodea el primer depósito. En algunos ejemplos, si se proporciona un revestimiento u otro tipo de recipiente en el depósito de almacenamiento, unas estructuras de este tipo pueden soportar parte de la carga de presión, pero preferiblemente están aguantadas y/o soportadas por la tierra/roca circundante. Esto puede ayudar a facilitar la presurización del depósito de almacenamiento a las presiones de almacenamiento deseadas, sin la necesidad de proporcionar un recipiente a presión fabricado que pueda soportar todo el diferencial de presión. En este ejemplo, el subsistema de almacenamiento térmico 120 también emplea múltiples etapas que incluyen, por ejemplo, múltiples etapas de almacenamiento térmico sensible y/o latente, tales como etapas que tienen uno o más materiales de cambio de fase y/o agua presurizada u otro fluido de transferencia de calor dispuestos en una cascada. Cabe observar que, si se opera el sistema para ciclos parciales de almacenamiento/recuperación, los tamaños de las etapas pueden dimensionarse de acuerdo con los ciclos de tiempo de los materiales de cambio de fase para que la fase cambie, lo que toma tiempo, tiene lugar de manera efectiva dentro de los ciclos de tiempo requeridos.

En general, a medida que el subsistema de compresor/expansor 100 comprime el gas cuando está en el modo de carga y se transporta para su almacenamiento hacia el acumulador 12, el calor del gas comprimido puede extraerse del gas comprimido y entrar en el subsistema de almacenamiento térmico 120 para almacenamiento de calor sensible y/o latente. De esta forma, al menos una parte de la energía térmica se guarda para uso futuro en lugar de, por ejemplo,

lixiviarse del gas comprimido al agua 20 o en la capa de líquido 16 y, en consecuencia, perderse sustancialmente (es decir, no recuperarse por el sistema 10).

5 De manera similar, cuando está en un modo de descarga, a medida que se libera gas del acumulador 12 hacia el subsistema de compresor/expansor 100, puede pasar opcionalmente a través del subsistema de almacenamiento térmico 120 para reabsorber al menos parte de la energía térmica almacenada en su camino hacia la etapa de expansión del subsistema de compresor/expansor 100. De manera ventajosa, el gas comprimido, en consecuencia calentado, puede alcanzar el subsistema de compresor/expansor 100 a una temperatura deseada (una temperatura de expansión) que es preferiblemente más caliente/más alta que la temperatura del acumulador, y puede estar dentro de aproximadamente 10 °C y aproximadamente 60 °C de la temperatura de salida en algunos ejemplos, que puede ayudar a permitir que el expansor funcione dentro de su intervalo o intervalos de temperatura de funcionamiento relativamente eficientes, en lugar de tener que operar fuera del intervalo con gas comprimido más frío.

15 En algunas realizaciones, el subsistema de almacenamiento térmico 120 puede emplear al menos un material de cambio de fase, preferiblemente múltiples materiales de cambio de fase, múltiples etapas y materiales que pueden seleccionarse de acuerdo con la clasificación de temperatura que permite la captura del calor latente. Generalmente, el calor del material de cambio de fase puede ser útil para almacenar calor de aproximadamente 150 grados Celsius y más. El material se fija en su ubicación y el aire comprimido que se va a almacenar o expandir se hace fluir a través del material. En realizaciones que usan múltiples materiales de cambio de fase en cascada, cada material de cambio de fase diferente representa una etapa de almacenamiento, de modo que un primer tipo de material de cambio de fase puede cambiar de fase almacenando así el calor entre 200 y 250 grados Celsius, un segundo tipo de material de cambio de fase puede cambiar de fase almacenando así el calor entre 175 y 200 grados Celsius, y un tercer tipo de material de cambio de fase puede cambiar de fase almacenando así el calor entre 150 y 175 grados Celsius. Un ejemplo de un material de cambio de fase que puede usarse con algunas realizaciones del sistema incluye una mezcla eutéctica de nitrato de sodio y nitrato de potasio o la sal de transferencia de calor HITEC<sup>®</sup> fabricada por Coastal Chemical Co. de Houston, Texas.

30 En las realizaciones del subsistema de almacenamiento térmico 120 que emplean almacenamiento de calor sensible, agua a presión o cualquier otro fluido/líquido térmico y/o refrigerante adecuado, puede emplearse como medio de almacenamiento térmico sensible. Opcionalmente, tales sistemas pueden configurarse de modo que el líquido de almacenamiento térmico permanezca líquido mientras el sistema 10A o 10B está en uso y no experimenta un cambio de fase significativo (es decir, no hierve para convertirse en un gas). Esto puede ayudar a reducir la pérdida de energía térmica a través del proceso de cambio de fase. Por ejemplo, tales líquidos de almacenamiento térmico de este tipo (por ejemplo, agua) pueden presurizarse y mantenerse a una presión operativa que sea suficiente para mantener generalmente el agua en su fase líquida durante el proceso de absorción de calor a medida que aumenta su temperatura. Es decir, el depósito y/o los conductos que contienen un líquido de almacenamiento térmico pueden presurizarse a una presión que es mayor que la presión atmosférica, y opcionalmente puede estar al menos entre aproximadamente 10 y 60 bar, y puede estar entre aproximadamente 30 y 45 bar, y entre aproximadamente 20 y 26 bar, de modo que el líquido de almacenamiento térmico se pueda calentar a una temperatura que sea mayor que su temperatura de ebullición a presión atmosférica.

45 En algunas realizaciones, la presión dentro del subsistema de almacenamiento térmico 120 puede ser aproximadamente la misma que la presión de la capa de gas 14 dentro del acumulador 12. Esto puede permitir que el gas que se está almacenando dentro del acumulador 12 también se use para presurizar al menos algunas partes del subsistema de almacenamiento térmico 120. En algunas disposiciones, puede haber comunicación fluida entre la capa de gas 14 y aspectos del subsistema de almacenamiento térmico 120 para ayudar a facilitar tal presurización. Opcionalmente, la comunicación fluida entre la capa de gas 14 y partes del subsistema de almacenamiento térmico 120 puede ser suficientemente abierta y/o libre (es decir, sin impedimentos de flujo sustanciales) de modo que el gas pueda fluir relativamente libremente entre el acumulador 12 y al menos partes del subsistema de almacenamiento térmico 120 a medida que el sistema 10 está en uso y a medida que cambia la presión dentro del acumulador 12. Este intercambio de gas puede ayudar a facilitar un equilibrio y/o adaptación automáticos de las presiones entre la capa de gas 14 y las partes presurizadas del subsistema de almacenamiento térmico 120.

55 Opcionalmente, el agua presurizada puede pasar a través de un intercambiador de calor o series de intercambiadores de calor para capturar y devolver el calor hacia y desde la corriente de gas que está saliendo del acumulador, a través del conducto 22. Generalmente, el almacenamiento de calor sensible puede ser útil para almacenar calor a temperaturas de 100 grados Celsius y superiores. Presurizar el agua en estos sistemas puede ayudar a facilitar el calentamiento del agua a temperaturas muy por encima de 100 grados Celsius (aumentando de este modo su capacidad total de almacenamiento de energía) sin hervir.

60 Opcionalmente, en algunas realizaciones, un subsistema de almacenamiento térmico 120 puede combinar tanto etapas de almacenamiento de calor latente como sensible y puede usar materiales de cambio de fase con múltiples etapas o una sola etapa. Preferiblemente, particularmente para materiales de cambio de fase, el controlador 118 puede ajustar el número de etapas a través de las que se transporta el aire durante la compresión y la expansión. Esto puede ayudar al sistema 10 a adaptar su programa de almacenamiento y liberación térmica para que coincida con las condiciones operativas deseadas y/o requeridas.

Opcionalmente, al menos parte del conducto de gas 22 puede ser externo al pozo 18 para que no se sumerja en el agua 20 que se mantiene en el pozo 18. En algunas realizaciones preferidas, la corriente de gas comprimido transferirá su energía térmica al sistema de almacenamiento térmico 120 (por ejemplo, pasando a través de los intercambiadores de calor 635 descritos en el presente documento) antes de que el gas comprimido se desplace bajo tierra. Es decir, algunas partes del subsistema de almacenamiento térmico 120 y al menos la parte del conducto de gas que se extiende entre el subsistema de compresor/expansor 100 y el subsistema de almacenamiento térmico 120 pueden proporcionarse por encima del suelo, ya que puede ser generalmente deseable en algunas realizaciones transferir tanto exceso de calor del gas al subsistema de almacenamiento térmico 120, y reducir la probabilidad de que el calor se transfiera/pierda en el agua 20, tierra u otros posibles disipadores de calor a lo largo de la longitud del conducto de gas 22. Se pueden aplicar consideraciones similares durante la etapa de expansión, ya que puede ser deseable que el gas calentado se desplace desde el subsistema de almacenamiento térmico 120 al subsistema de compresor/expansor 100 a una temperatura deseada, mientras se reduce el calor perdido en tránsito.

Haciendo referencia nuevamente a la Figura 3, en este ejemplo, el subsistema de almacenamiento térmico 120 está configurado para almacenar energía térmica del gas presurizado entrante en un líquido de almacenamiento térmico 600. Opcionalmente, el líquido de almacenamiento térmico 600 puede presurizarse en el subsistema de almacenamiento térmico 120 a una presión de almacenamiento que es más alta que la presión atmosférica y puede ser opcionalmente generalmente igual o mayor que la presión del acumulador. Armonizar la presión de almacenamiento en el subsistema de almacenamiento térmico 120 y el acumulador 12 puede ayudar a facilitar configuraciones en las que hay al menos alguna comunicación fluida entre el subsistema de almacenamiento térmico 120 y el acumulador 12 (incluyendo las descritas en el presente documento). En algunos ejemplos, la presión de almacenamiento puede estar entre aproximadamente el 100 % y aproximadamente el 200 % de la presión del acumulador.

Presurizar el líquido de almacenamiento térmico 600 de esta manera puede permitir que el líquido de almacenamiento térmico 600 se caliente a temperaturas relativamente más altas (es decir, almacene relativamente más energía térmica y en un grado más valioso) sin hervir, en comparación con el mismo líquido a presión atmosférica. Es decir, el líquido de almacenamiento térmico 600 puede presurizarse a una presión de almacenamiento y calentarse a una temperatura de almacenamiento térmico de modo que el líquido de almacenamiento térmico 600 se mantenga como un líquido mientras el sistema está en uso (lo que puede ayudar a reducir la pérdida de energía a través del cambio de fase del líquido de almacenamiento térmico). En las realizaciones ilustradas, la temperatura de almacenamiento puede estar entre aproximadamente 150 y aproximadamente 500 grados Celsius, y preferiblemente puede estar entre aproximadamente 150 y 350 grados Celsius. La temperatura de almacenamiento está preferiblemente por debajo de una temperatura de ebullición del líquido de almacenamiento térmico 600 cuando está a la presión de almacenamiento, pero puede ser, y en algunos casos será preferiblemente, la temperatura de ebullición superior del líquido de almacenamiento térmico 600 si estuviera a presión atmosférica. En este ejemplo, el líquido de almacenamiento térmico 600 puede ser agua, pero en otras realizaciones pueden diseñarse fluidos de transferencia/almacenamiento de calor, refrigerantes, aceites y similares. Cuando está suficientemente presurizado, el agua puede calentarse a una temperatura de almacenamiento de aproximadamente 250 grados Celsius sin hervir, mientras que el agua a esa temperatura herviría a presión atmosférica.

Opcionalmente, el líquido de almacenamiento térmico 600 puede hacerse circular a través de un intercambiador de calor adecuado para recibir calor de la corriente de gas comprimido que se desplaza a través del conducto de suministro de gas 22 durante un modo de carga (aguas abajo del subsistema de compresor/expansor 100). El líquido de almacenamiento térmico 600 calentado puede recogerse y almacenarse en un depósito de almacenamiento adecuado (o más de un depósito de almacenamiento) que puede retener el líquido de almacenamiento térmico 600 calentado y puede presurizarse a una presión de almacenamiento que es mayor que la presión atmosférica (y puede estar entre aproximadamente 10 y 60 bar, puede estar entre aproximadamente 30 y 45 bar y entre aproximadamente 20 y 26 bar).

El depósito de almacenamiento puede ser cualquier tipo de estructura adecuada, que incluye una cámara/cavidad subterránea (por ejemplo, formada dentro del terreno circundante 200) o un tanque fabricado, recipiente, una combinación de un tanque fabricado y una cámara/cavidad subterránea, o similar. Si se configura para incluir una cámara subterránea, la cámara puede revestirse opcionalmente para ayudar a proporcionar un nivel deseado de impermeabilidad a líquidos y gases y/o aislamiento térmico. Por ejemplo, las cámaras subterráneas pueden estar revestidas al menos parcialmente con hormigón, polímeros, caucho, plásticos, geotextiles, materiales compuestos, metal y similares. Configurar el depósito de almacenamiento para que sea al menos parcialmente, y preferiblemente al menos sustancialmente, impermeable puede ayudar a facilitar la presurización del depósito de almacenamiento como se describe en el presente documento. Preferiblemente, la cámara subterránea puede ser una estructura reutilizada o reconfigurada que se usó previamente para otro propósito durante la construcción u operación del sistema 10. Por ejemplo, se puede proporcionar un depósito de almacenamiento térmico en el interior de un pozo o disminución de construcción u otra estructura de este tipo que se usó para un propósito no relacionado con el almacenamiento térmico durante la construcción del sistema 10.

Los tanques fabricados pueden formarse a partir de cualquier material adecuado, incluyendo hormigón, metal,

plástico, vidrio, cerámica, materiales compuestos y similares. Opcionalmente, el tanque fabricado puede incluir hormigón que se refuerza usando, metal, plástico reforzado con fibras, cerámica, vidrio o similares, lo que puede ayudar a reducir la diferencia de expansión térmica entre el hormigón y el material de refuerzo.

5 En esta realización el depósito de almacenamiento 610 del subsistema de almacenamiento térmico 120 incluye una cámara 615 que está colocada bajo tierra, a una profundidad 660 del depósito. Opcionalmente, la profundidad 660 del depósito es menor que la profundidad del acumulador 12, que en este ejemplo corresponde a la altura 50 del pozo. Opcionalmente, el subsistema de almacenamiento térmico 120 puede configurarse de modo que la profundidad 660 del depósito sea al menos aproximadamente 1/3 de la profundidad del acumulador/altura 50 del pozo o más. Por ejemplo, si el acumulador 12 se coloca a una profundidad de aproximadamente 300 m, la profundidad 660 del depósito es preferiblemente de aproximadamente 100 m o más. Por ejemplo, hacer que la profundidad 660 del depósito sea menor que la profundidad 50 del acumulador puede ayudar a facilitar que una altura de succión positiva neta suficiente esté disponible para las bombas de transferencia de fluido y otros equipos utilizados para bombear el líquido de almacenamiento térmico 600 a través del subsistema de almacenamiento térmico 120 (por ejemplo, entre el depósito fuente 606 y el depósito de almacenamiento 610). Esto puede permitir que las bombas de transferencia se coloquen convenientemente sobre tierra y puede ayudar a reducir las posibilidades de que se produzca una cavitación dañina. En otras realizaciones, la profundidad 660 del depósito puede ser sustancialmente la misma que la altura 50 del pozo.

20 La profundidad 660 del depósito que es al menos 1/3 de la profundidad 50 del acumulador 12 también puede permitir una estabilidad de roca relativamente mayor de la caverna de almacenamiento térmico subterráneo, tal como la cámara 615. El gradiente geostático, que proporciona un límite superior de presión dentro de las cavernas subterráneas de roca, es típicamente aproximadamente 2,5 - 3 veces el gradiente hidrostático. Dado este criterio de estabilidad de la roca, la profundidad 660 del depósito más superficial puede ser aproximadamente tres veces menor que la profundidad del acumulador en algunas realizaciones, tal como cuando la presión de almacenamiento es generalmente igual a la presión del acumulador.

30 En este ejemplo, la cámara 615 es una única cámara que tiene un interior de cámara 616 que está definido al menos parcialmente por una pared de cámara inferior 620, una pared de cámara superior 651 y una pared lateral de cámara 621. La cámara 615 está conectada a un extremo de un paso de entrada/salida de líquido 630 (tal como una tubería u otro conducto adecuado) por lo que el líquido de almacenamiento térmico 600 puede transferirse dentro y/o fuera de la cámara 615. Además de la capa de líquido de almacenamiento térmico 600, una capa de gas de cobertura 602 está contenida en la cámara 615 y se superpone al líquido de almacenamiento térmico 600. Al igual que la disposición utilizada para el acumulador 12, la capa de gas de cobertura 602 puede presurizarse usando cualquier mecanismo adecuado para ayudar a presurizar el interior de la cámara 615 y ayudar de este modo a presurizar el líquido de almacenamiento térmico 600. El gas de cobertura puede ser cualquier gas adecuado, incluyendo aire, nitrógeno, vapor líquido de almacenamiento térmico, un gas inerte y similares. Opcionalmente, al menos las partes subterráneas del paso de entrada/salida de líquido 630 (es decir, las partes que se extienden entre el intercambiador de calor 635 y el depósito de almacenamiento 610) pueden aislarse (tal como mediante un manguito de vacío o material de aislamiento) para ayudar a reducir la transferencia de calor entre el fluido de almacenamiento térmico y el suelo circundante.

40 Cuando el subsistema de almacenamiento térmico 120 está en uso, se puede proporcionar un suministro de líquido de almacenamiento térmico desde cualquier fuente de líquido de almacenamiento térmico adecuada 605. La fuente de líquido de almacenamiento térmico se puede mantener a una presión fuente que puede ser la misma que la presión de almacenamiento o puede ser diferente de la presión de almacenamiento. Por ejemplo, la fuente de líquido de almacenamiento térmico puede estar a aproximadamente presión atmosférica, lo que puede reducir la necesidad de proporcionar un recipiente a presión relativamente fuerte para la fuente de líquido de almacenamiento térmico. Como alternativa, la fuente de líquido de almacenamiento térmico puede estar presurizada. La fuente de líquido de almacenamiento térmico también se puede mantener a una temperatura fuente que es más baja y, opcionalmente, sustancialmente más baja que la temperatura de almacenamiento. Por ejemplo, la fuente de líquido de almacenamiento térmico puede estar a temperaturas de entre aproximadamente 2 y aproximadamente 100 grados Celsius y puede estar entre aproximadamente 4 y aproximadamente 50 grados Celsius. El aumento de la diferencia de temperatura entre el líquido de almacenamiento térmico entrante desde la fuente y la temperatura de almacenamiento puede ayudar a aumentar la cantidad de calor y/o energía térmica que se puede almacenar en el subsistema de almacenamiento térmico 120.

55 La fuente de líquido de almacenamiento térmico 605 puede tener cualquier configuración adecuada y puede tener la misma construcción que un depósito de almacenamiento asociado o puede tener una configuración diferente. Por ejemplo, en la realización de la Figura 3, la fuente de líquido de almacenamiento térmico 605 incluye un depósito fuente 606 que está configurado en la misma cámara subterránea que la cámara de almacenamiento de fluido térmico 615. En esta disposición, se puede proporcionar un sistema de bucle cerrado, incluyendo el depósito de almacenamiento 610 y el depósito fuente 606. Como alternativa, la fuente de líquido de almacenamiento térmico 605 puede incluir un depósito fuente 606 que está configurado como un recipiente sobre tierra y opcionalmente no necesita presurizarse sustancialmente por encima de la presión atmosférica. En otras realizaciones, la fuente de líquido térmico 605 puede incluir una masa de agua tal como el lago 150, agua 20 del pozo 18, líquido de la capa de líquido 16 en el acumulador 12 (o de cualquier otra parte del sistema general 10), agua de un suministro de agua municipal u otras fuentes de este tipo y combinaciones de los mismos.

En la realización de la Figura 3, el depósito fuente 606 y el depósito de almacenamiento 610 son adyacentes entre sí y son partes de una cámara subterránea generalmente común. Esto puede ayudar a simplificar la construcción del subsistema de almacenamiento térmico 120 ya que una excavación de una única cámara puede proporcionar espacio tanto para el depósito fuente 606 como para el depósito de almacenamiento 610. Esto también puede ayudar a simplificar las tuberías y las válvulas entre el depósito fuente 606 y el depósito de almacenamiento 610.

En algunos ejemplos, los interiores del depósito de almacenamiento 610 y el depósito fuente 606 pueden estar sustancialmente aislados de forma fluida entre sí, de modo que ni el gas ni el líquido puedan pasar fácil/libremente entre los depósitos 606 y 610. Como alternativa, como se ilustra en la Figura, los interiores del depósito de almacenamiento 610 y el depósito fuente 606 pueden estar en comunicación de flujo de gas entre sí, tal como proporcionando el paso de intercambio de gas 626 que puede conectar la capa de gas de cobertura 602 con una capa de gas de cobertura 608 en el depósito fuente 606. El paso de intercambio de gas 626 puede configurarse para permitir un flujo de gas bidireccional libre entre el depósito de almacenamiento 610 y el depósito fuente 606 o puede configurarse para permitir únicamente un flujo de gas unidireccional (en cualquier dirección). Proporcionar un flujo libre de gas entre el depósito de almacenamiento 610 y el depósito fuente 606 puede ayudar a igualar automáticamente las presiones dentro del depósito de almacenamiento 610 y el depósito fuente 606. Preferiblemente, cuando se dispone de esta manera, cuando se dispone de esta manera, el interior del depósito de almacenamiento 610 permanece al menos parcialmente aislado del interior del depósito 606 fuente durante el funcionamiento normal para inhibir, y preferiblemente evitar, la mezcla del gas de cobertura relativamente caliente asociado con el líquido de almacenamiento térmico 600 en el depósito de almacenamiento 610 con el gas de cobertura relativamente más frío asociado con el líquido de almacenamiento térmico en el depósito fuente 606. En este ejemplo, el depósito de almacenamiento 610 y el depósito fuente 606 comparten una pared lateral común, que puede funcionar como una barrera aislante 625 para evitar la mezcla de líquido entre los depósitos. Esta pared lateral común puede estar aislada para evitar la transferencia de calor no deseada desde el líquido de almacenamiento térmico 600 relativamente caliente en el depósito de almacenamiento 610 al líquido de almacenamiento térmico relativamente más frío en el depósito fuente 606.

Cuando los sistemas de almacenamiento de energía de gas comprimido están en un modo de carga, el gas comprimido se dirige al acumulador 12 y el líquido de almacenamiento térmico 600 se puede extraer de la fuente de líquido de almacenamiento térmico 605, hacer pasar a través de un lado de un intercambiador de calor adecuado 635 (que incluye una o más etapas de intercambiador de calor) para recibir energía térmica de la corriente de gas comprimido que sale del subsistema de compresor/expansor 100, y luego transportarse/bombearse a través del paso de entrada/salida de líquido 630 y en el depósito de almacenamiento 610 para su almacenamiento a la presión de almacenamiento.

Cuando el sistema de almacenamiento de energía de gas comprimido está en un modo de almacenamiento, el gas comprimido no fluye ni hacia dentro ni hacia fuera del acumulador 12 ni a través del intercambiador de calor 635 y el líquido 600 de almacenamiento térmico no necesita circular a través del intercambiador de calor 635.

Cuando los sistemas de almacenamiento de energía de gas comprimido están en un modo de descarga, el gas comprimido se transfiere desde el acumulador 12 y al subsistema de compresor/expansor 120 para su expansión y el líquido de almacenamiento térmico 600 se puede extraer del depósito de almacenamiento 610, hacerse pasar a través de un lado de un intercambiador de calor adecuado 635 (que incluye una o más etapas de intercambiador de calor) para transferir energía térmica desde el líquido de almacenamiento térmico a la corriente de gas comprimido para ayudar a aumentar la temperatura de la corriente de gas antes de que entre en el subsistema de compresor/expansor 100. Opcionalmente, el fluido de almacenamiento térmico se puede transportar/bombear a continuación al depósito fuente 606 para su almacenamiento.

El líquido de almacenamiento térmico 600 puede transportarse a través de las diversas partes del subsistema de almacenamiento térmico 120 usando cualquier combinación adecuada de bombas, válvulas, mecanismos de control de flujo y similares. Opcionalmente, se puede proporcionar una bomba de extracción en comunicación fluida con, y opcionalmente anidada al menos parcialmente dentro, del depósito de almacenamiento 610 para ayudar a bombear el líquido de almacenamiento térmico 600 desde el depósito de almacenamiento 610 hasta la superficie. Una bomba de este tipo puede ser una bomba de tipo sumergible y/o puede configurarse de modo que la bomba y su motor de accionamiento estén ubicados dentro del depósito de almacenamiento 610. Como alternativa, la bomba puede configurarse como una bomba de cavidad progresiva que tiene un conjunto de estator y rotor 668 (que incluye un rotor recibido de manera giratoria dentro de un estator) proporcionado en el depósito de almacenamiento 610 y posicionado para sumergirse al menos parcialmente en el líquido de almacenamiento térmico 600, un motor 670 que está separado del conjunto de estator y rotor 668 (en la superficie en este ejemplo) y un árbol de transmisión 672 que se extiende entremedias. En este ejemplo, el árbol de transmisión 672 está anidado dentro del paso de entrada/salida de líquido 630 que se extiende hasta el depósito de almacenamiento 610, pero, como alternativa, puede estar en otras ubicaciones.

Opcionalmente, para ayudar a presurizar el depósito de almacenamiento 610, el subsistema de almacenamiento térmico 120 puede incluir cualquier tipo adecuado de sistema de presurización y puede incluir un sistema de compresor

de almacenamiento térmico que puede ayudar a presurizar la capa de gas de cobertura 602 en el depósito de almacenamiento. Esto puede incluir un compresor de almacenamiento térmico 664 que está en comunicación fluida con la capa de gas de cobertura. El propio compresor puede estar en la superficie y puede estar conectado a la capa de gas de cobertura mediante un conducto de gas 666 de compresor que puede estar separado o al menos  
 5 parcialmente integrado con el paso de entrada/salida de líquido 630. Opcionalmente, el compresor 664 puede configurarse para elevar la presión de la capa de gas de cobertura 602 desde la presión atmosférica hasta la presión de almacenamiento. El compresor 664 y cualquier otro aspecto del subsistema de almacenamiento térmico 120 pueden controlarse automáticamente, al menos parcialmente, por el controlador 118. Si bien se muestra como un compresor separado 664, la presión para el depósito de almacenamiento 610 puede estar proporcionada, al menos  
 10 parcialmente, por el subsistema de compresor/expansor 100.

La Figura 4 es una vista esquemática de los componentes de un ejemplo de un subsistema de compresor/expansor para su uso con un sistema de almacenamiento de energía de gas comprimido adecuado (incluidos los sistemas compensados hidrostáticamente descritos en el presente documento y otros sistemas que no están compensados hidrostáticamente), con pares de etapas de compresión y expansión, cada una asociada con un intercambiador de calor respectivo del subsistema de almacenamiento térmico 120.  
 15

En esta realización, se usa un intercambiador dado del subsistema de almacenamiento térmico 120 durante las etapas de compresión y expansión, dirigiendo el aire que se transporta al acumulador 12 a través del subsistema de almacenamiento térmico 120 para eliminar el calor del aire antes de una etapa posterior de compresión o antes del almacenamiento y encaminar el aire que se transporta fuera del acumulador 12 a través del subsistema de almacenamiento térmico 120 para agregar calor al aire después de la liberación del acumulador o después de una etapa de expansión. En cierto sentido, por lo tanto, pares de etapas de compresión y expansión comparten un intercambiador de calor 635a, 635b y 635x y el flujo de aire se controla usando las válvulas V, como se muestra en la  
 20 Figura 4. Esta realización puede ser útil cuando el "mismo" calor/energía térmica recibida del aire comprimido que se transporta a través de la trayectoria del flujo de aire hacia el acumulador 12 durante una fase de almacenamiento está destinado a ser reintroducido y/o transferido en el aire que se libera del acumulador 12 durante una fase de liberación.  
 25

La realización de la Figura 4 tiene un primer intercambiador de calor 635a proporcionado en la trayectoria de flujo de gas y operable para transferir energía térmica entre el gas comprimido que viaja a través de la trayectoria de flujo de gas y el líquido de almacenamiento térmico. Se proporciona un segundo intercambiador de calor 635b adicional en la trayectoria de flujo de gas aguas abajo del primer intercambiador de calor y operable para transferir energía térmica entre el gas comprimido que viaja a través de la trayectoria de flujo de gas y el líquido de almacenamiento térmico. Por motivos de claridad, aguas abajo se refiere a la trayectoria del gas comprimido en el modo de carga. Se proporciona un tercer intercambiador de calor 635x adicional en la trayectoria de flujo de gas aguas abajo del segundo intercambiador de calor y operable para transferir energía térmica entre el gas comprimido que viaja a través de la trayectoria de flujo de gas y el líquido de almacenamiento térmico.  
 30  
 35

El uso de múltiples intercambiadores de calor puede permitir que el sistema funcione en condiciones deseables. Dado que hay múltiples etapas de intercambiadores de calor en esta disposición, ningún intercambiador de calor individual necesita ser responsable de capturar toda la energía térmica del gas comprimido. En cambio, existen múltiples oportunidades para que la energía térmica en el gas comprimido se transfiera a los medios de almacenamiento térmico. Por lo tanto, los medios de almacenamiento térmico se pueden mantener a una temperatura más baja, lo que puede reducir la presión a la que debe presurizarse el líquido de almacenamiento térmico para mantener su estado líquido, puede eliminar opcionalmente la necesidad de presurizar el líquido de almacenamiento térmico generalmente por encima de la presión atmosférica y/o puede ayudar a reducir la necesidad de material aislante térmico en el depósito de almacenamiento térmico u otras partes del subsistema de almacenamiento térmico 120.  
 40  
 45

De manera similar, en el modo de descarga, el gas que sale del acumulador puede recibir energía térmica de los medios de almacenamiento térmico en cada uno de los intercambiadores de calor. Los intercambiadores de calor adicionales pueden ayudar a mejorar la eficiencia general de la transferencia de energía térmica de vuelta al gas.  
 50

La Figura 5 es una vista esquemática de los componentes del ejemplo alternativo de un subsistema de compresor/expansor, que muestra el flujo de aire durante una fase de expansión (liberación) desde el almacenamiento a través de múltiples etapas del expansor y múltiples intercambiadores de calor respectivos del subsistema de almacenamiento térmico 120. En esta fase, a través del control de las válvulas V, el flujo de aire se dirige a través de una expansión múltiple. Las líneas discontinuas muestran múltiples etapas de compresión a las que se evita el flujo de aire durante una fase de expansión mediante el control de las válvulas V.  
 55

La Figura 6 es una vista esquemática de los componentes del subsistema de compresor/expansor alternativo de la Figura 4, que muestra el flujo de aire durante una fase de compresión (almacenamiento) desde el ambiente A a través de múltiples etapas del compresor y múltiples intercambiadores de calor respectivos del subsistema de almacenamiento térmico 120. En esta fase, a través del control de las válvulas V, el flujo de aire se dirige a través de múltiples etapas de compresión. Las líneas discontinuas muestran múltiples etapas de expansión a las que se evita el flujo de aire durante la fase de expansión mediante el control de las válvulas V.  
 60  
 65

La Figura 7 es una vista en sección de componentes de un sistema de almacenamiento de energía de gas comprimido alternativo 10C, de acuerdo con una realización. En esta realización, el sistema de almacenamiento de energía de gas comprimido 10C es similar a las otras realizaciones de los sistemas de almacenamiento de energía de gas comprimido descritos en el presente documento. Sin embargo, en esta realización, el subsistema de almacenamiento térmico 120 (que incluye cualquiera de las variaciones adecuadas descritas en el presente documento, incluyendo un depósito de almacenamiento 610, depósito fuente 606 y equipos relacionados) está ubicado dentro del acumulador 12 y puede estar al menos parcialmente sumergido dentro del gas comprimido en la capa de gas comprimido 14. El subsistema de almacenamiento térmico 120 puede colocarse dentro del acumulador 12 durante la construcción a través de la abertura 27 que se bloquea posteriormente con el mamparo 24 antes de llenar el pozo 18 con líquido 20. Por lo tanto, el subsistema de almacenamiento térmico 120 puede diseñarse para permitir que la construcción, el aislamiento, etc. se completen antes de la colocación dentro del acumulador 12 y/o está construido en componentes fácilmente ensamblados dentro del acumulador 12. Esto permite que las unidades estén altamente aisladas y con control de calidad en su construcción, lo que permite que el subsistema de almacenamiento térmico 120 sea generalmente independiente del acumulador 12, con la excepción de un soporte de anclaje (no mostrado).

Opcionalmente, se puede proporcionar una válvula de regulación asociada 130 con el interior del subsistema de almacenamiento térmico 120 y configurarse para abrirse si la presión dentro del subsistema de almacenamiento térmico 120 se vuelve mayor que la diferencia de presión diseñada entre su interior y la presión de la capa de gas comprimido 14 en el acumulador 12 circundante. La presión dentro del subsistema de almacenamiento térmico 120 puede mantenerse a un nivel particular para el funcionamiento preferido del material latente o sensible. Por ejemplo, el agua calentada como material sensible puede mantenerse a una presión particular para mantener el fluido térmico en su estado líquido a la temperatura de almacenamiento. La válvula de regulación 130 puede abrirse para permitir que el gas presurizado en el interior escape al acumulador 12 y puede cerrarse una vez que la diferencia de presión se ha reducido lo suficiente como para alcanzar un nivel designado. En una realización alternativa, una válvula de regulación de este tipo puede proporcionar una comunicación fluida entre el interior del subsistema de almacenamiento térmico 120 y el ambiente A en la superficie para permitir de este modo que el gas escape al ambiente en lugar de al acumulador 12. Mientras que el subsistema de almacenamiento térmico 120 se muestra completamente sumergido en la capa de gas comprimido 14, los subsistemas de almacenamiento térmico alternativos 120 pueden configurarse para sumergirse parcial o totalmente dentro de la capa de líquido 16. En algunos ejemplos, solo una parte del subsistema de almacenamiento térmico 120, tal como el depósito de almacenamiento 610, puede anidarse al menos parcialmente dentro del acumulador 12, y otras partes, tales como los intercambiadores de calor y el depósito de fuente 606, pueden estar separadas del acumulador 12.

La Figura 8 es una vista en sección de componentes de un sistema de almacenamiento de energía de gas comprimido alternativo 10D, de acuerdo con otra realización alternativa. En esta realización, el sistema de almacenamiento de gas de energía comprimido 10D incluye un tipo diferente de acumulador 12D que no está compensado hidrostáticamente y puede ser una caverna de sal, una formación geológica existente, o artificial. Es decir, el acumulador 12D está configurado para contener gas comprimido pero no necesita incluir una capa de líquido o estar asociado con un pozo que contiene agua. Este es otro tipo de acumulador que puede, en algunas realizaciones, usarse en lugar de o además de los acumuladores 12 usados con respecto a otras realizaciones de los sistemas de almacenamiento de energía de gas comprimido descritos en el presente documento. Los aspectos de los subsistemas de almacenamiento térmico 120 descritos en esta realización pueden usarse junto con los sistemas de almacenamiento de energía de gas comprimido compensados hidrostáticamente descritos y los aspectos de los subsistemas de almacenamiento térmico 120 representados en otras realizaciones pueden utilizarse con acumuladores similares al acumulador 12D. En esta realización, el sistema de almacenamiento de energía de gas comprimido 10D es similar a los sistemas de almacenamiento de energía de gas comprimido descritos anteriormente. Sin embargo, el subsistema de almacenamiento térmico 120 está ubicado dentro de una cámara presurizada isobárica 140 dentro del suelo 200 que puede mantenerse a la misma presión que el acumulador 12 o una presión que es sustancialmente similar a la presión del acumulador u opcionalmente a una presión que es menor o mayor que la presión del acumulador. Opcionalmente, el subsistema de almacenamiento térmico 120 puede colocarse dentro de la cámara presurizada 140 durante la construcción a través de una abertura que se bloquea posteriormente para que la cámara 140 pueda presurizarse a una presión de trabajo que es, preferiblemente, mayor que la presión atmosférica. Por lo tanto, el subsistema de almacenamiento térmico 120 puede diseñarse para permitir que la construcción, el aislamiento, etc. se completen antes de la colocación dentro de la cámara 140 y/o está construido en componentes fácilmente ensamblados dentro de la cámara 140. Esto permite que las unidades estén altamente aisladas y con control de calidad en su construcción, lo que permite que el subsistema de almacenamiento térmico 120 sea generalmente independiente de la cámara 140, con la excepción del soporte de anclaje (no mostrado). Se proporciona una válvula de regulación 130 asociada con el interior del subsistema de almacenamiento térmico 120 y se configura para abrirse si la presión dentro del subsistema de almacenamiento térmico 120 se vuelve mayor que la diferencia de presión diseñada entre el interior y la cámara presurizada circundante 140. Puede requerirse que la presión dentro del subsistema de almacenamiento térmico 120 se mantenga a un nivel particular para el funcionamiento óptimo del material latente o sensible. Por ejemplo, puede requerirse que el agua calentada como material sensible se mantenga a una presión particular para mantener el fluido térmico en su estado líquido a la temperatura de almacenamiento. La válvula de regulación 130 se abre para permitir que el gas presurizado en el interior escape a la cámara presurizada 140 y se cierra una vez que la diferencia de presión se reduce lo suficiente como para alcanzar un nivel designado. En una realización alternativa, una válvula de regulación 130 de este tipo puede proporcionar una comunicación fluida entre el interior del subsistema de

almacenamiento térmico 120 y el ambiente A en la superficie para permitir de este modo que el gas escape al ambiente en lugar de a la cámara presurizada 140.

5 Ubicar el subsistema de almacenamiento térmico 120 por encima del acumulador 12 y, por lo tanto, físicamente más cerca del subsistema de compresión/expansión 100, puede ayudar a reducir la longitud de tubería requerida, lo que puede ayudar a reducir los costes de tuberías, instalación y mantenimiento, así como requisitos de potencia de transferencia de fluido reducidos.

10 Si bien la realización del sistema de almacenamiento de energía de gas comprimido 10D incluye una cámara presurizada isobárica 140, son posibles alternativas en las que la cámara 140 no es estrictamente isobárica. Asimismo, en realizaciones alternativas, la cámara presurizada 140 puede estar en comunicación fluida con la capa de gas 14 y, por tanto, puede servir como v de almacenamiento para el gas comprimido que se comprime por el subsistema de compresor/expansor 100 junto con el acumulador 12. De esta forma, la presión del gas en el que está sumergido el subsistema de almacenamiento térmico 120 puede mantenerse a través de las mismas expansiones y compresiones de gas que se transportan hacia y desde el acumulador 12.

20 Opcionalmente, cualquiera de los subsistemas de almacenamiento térmico 120 descritos en el presente documento puede incluir un sistema de acondicionamiento térmico que puede usarse para regular la temperatura de la capa de gas de cobertura 602 en el depósito 610 de almacenamiento y/o en el depósito 606 fuente. Por ejemplo, el sistema de acondicionamiento térmico puede incluir un enfriador de ventilador, intercambiador de calor, serpentines de evaporador u otro equipo de este tipo para que pueda usarse para reducir opcionalmente (o, como alternativa, aumentar) la temperatura de la capa de gas de cobertura 602 cuando el subsistema de almacenamiento térmico 120 está en uso.

25 En determinadas realizaciones preferentes, el sistema de almacenamiento térmico 120 para su uso con un sistema de almacenamiento de energía de gas comprimido adecuado puede configurarse para usar un medio de almacenamiento térmico sólido. El uso de un medio de almacenamiento térmico sólido puede proporcionar ciertos beneficios. Por ejemplo, un medio de almacenamiento térmico sólido puede permitir la transferencia de calor directa entre el gas y el medio de almacenamiento sin riesgo de mezcla entre la corriente de gas y el medio de almacenamiento térmico. Además, el uso de un medio de almacenamiento térmico sólido puede ayudar a garantizar que el medio de almacenamiento térmico no cambie de fase durante la transferencia de calor, lo que puede ayudar a reducir y/o eliminar la necesidad de presurizar los medios de almacenamiento térmico y sus depósitos de almacenamiento mientras los sistemas 10 están en uso. Esto puede ayudar a simplificar la construcción y/o el mantenimiento de los sistemas 10 y puede reducir y/o eliminar la necesidad de utilizar recipientes a presión de resistencia relativamente alta para cualquiera de los depósitos de almacenamiento en frío o caliente. El medio de almacenamiento térmico utilizado puede ser cualquier tipo adecuado de partículas de transferencia de calor granulares y puede incluir, por ejemplo, rocas, grava, metal (aluminio, acero, etc.) o cualquier sólido granular adecuado (por ejemplo, arena, sílice, etc.).

40 Con referencia a la Figura 9, un ejemplo de otra realización del subsistema de almacenamiento térmico 2120 está configurado para su uso con un medio de almacenamiento térmico sólido y puede usarse en combinación con cualquiera de los sistemas 10 descritos en el presente documento y otros sistemas adecuados. Este subsistema de almacenamiento térmico 2120 puede usarse como el único subsistema de almacenamiento térmico para un sistema de almacenamiento de energía de gas comprimido o puede usarse en combinación con otras realizaciones de subsistemas de almacenamiento térmico, incluyendo los descritos en el presente documento.

45 En este ejemplo, el subsistema de almacenamiento térmico 2120 está configurado para usarse en combinación con cualquier subsistema de compresor/expansor 2100 adecuado que incluya al menos una etapa de compresión y expansión, incluyendo los subsistemas de compresión y expansión 100 descritos en el presente documento. El subsistema de compresor/expansor 2100 puede incluir cualquier número adecuado o deseado de etapas de compresión y/o expansión, y puede tener, por ejemplo, 2, 3 o más etapas de compresión y expansión. En dichas configuraciones, se puede entender que el subsistema de compresor/expansor 2100 incluye al menos una primera entrada de gas 2170 que puede estar opcionalmente en comunicación con la atmósfera A y una salida de gas 2172 que está en comunicación fluida con el interior del acumulador 12 a través de una trayectoria de flujo de gas 2700 para transportar gas comprimido a la presión de almacenamiento al acumulador 12 cuando está en el modo de carga y desde el acumulador 12 cuando está en el modo de descarga. Para los fines de analizar el funcionamiento del subsistema de almacenamiento térmico 2120, la salida de gas 2172 puede considerarse la salida final del subsistema de compresor/expansor 2100 en la que el gas que sale del subsistema de compresor/expansor 2100 está a su presión final y más alta que es sustancialmente la misma que la presión de almacenamiento dentro del acumulador 12 (sujeta a pérdidas de línea, etc.). Sin embargo, en algunas realizaciones, la salida de gas 2172 puede ser la salida de una o más de las etapas de compresión intermedias dentro de un subsistema de compresor/expansor de múltiples etapas, de modo que la presión en la salida de gas sea mayor que la presión en la entrada 2170, pero puede ser menor que la presión dentro del acumulador 12. En dichos ejemplos, pueden usarse subsistemas de almacenamiento térmico 2120 separados en combinación con cada etapa de compresión o, como alternativa, un subsistema de almacenamiento térmico 2120 puede configurarse con múltiples cámaras de mezcla u otras características similares para poder acomodar dos o más corrientes de gas a dos o más presiones mientras se evita la mezcla de las corrientes entre sí (ayudando así a preservar sus presiones separadas). En dichos ejemplos, puede haber una cámara de mezcla

después de cada etapa de compresión, correspondiendo la presión en cada cámara de mezcla sustancialmente a la presión de salida de la etapa de compresión que está siguiendo.

5 En contraste con los sistemas de almacenamiento térmico 120, el medio de almacenamiento térmico en el subsistema de almacenamiento térmico 2120 utiliza un medio de almacenamiento térmico sólido, pero aún está configurado para transportar/llevar el medio de almacenamiento térmico entre un depósito de fuente relativamente frío y un depósito de almacenamiento relativamente caliente mientras el sistema 10 está en uso. En lugar de ser tanques o cavernas que contienen líquido como se usan en los sistemas de almacenamiento térmico 120, los sistemas de almacenamiento térmico 2120 tienen un depósito fuente que incluye una cámara de almacenamiento en frío 2606 y un depósito de almacenamiento que incluye una cámara de almacenamiento en caliente 2610. Se proporciona una cámara de mezcla 2635 en comunicación fluida con la trayectoria de flujo de gas 2700 y también está conectada en comunicación con la cámara de almacenamiento en frío 2606 y la cámara de almacenamiento en caliente 2610 como se explica adicionalmente en el presente documento.

15 Esta realización del subsistema de almacenamiento térmico 2120 puede incluir al menos una primera cámara de mezcla 2635 (con dos o más cámaras posibles en otras realizaciones) que puede configurarse para operar como un intercambiador de calor de contacto directo que permite que el gas en la trayectoria de flujo de gas venga en contacto físico directo con los medios de almacenamiento térmico sólidos. En determinadas realizaciones preferentes, la primera cámara de mezcla puede configurarse de tal manera que la presión dentro de la cámara de mezcla sea sustancialmente la misma que la presión operativa dentro de la trayectoria de flujo de gas y, opcionalmente, a la presión de almacenamiento deseada dentro del acumulador 12.

20 El subsistema de almacenamiento térmico 2120 también puede incluir una variedad de válvulas, conductos, reguladores y otros equipos adecuados asociados con la transmisión de corrientes de materia gaseosa o de partículas sólidas, pero que no se han incluido en las imágenes esquemáticas de las Figuras 9-11.

30 Tanto la cámara de almacenamiento en frío 2606 como la cámara de almacenamiento en caliente 2610 incluyen cualquier tipo adecuado de aparato que pueda contener, recibir y dispensar el material de medio de almacenamiento térmico sólido deseado, como un silo, tolva, elevador y similares y también puede incluir cualquier aparato adecuado para manipular y acceder al material granular sólido, tales como transportadores, tolvas, transportadores helicoidales, bombas de desplazamiento positivo, cangilones y similares. Por ejemplo, la cámara de almacenamiento en frío 2606 y la cámara de almacenamiento en caliente 2610 pueden incluir cada una al menos un silo de fondo de tolva que puede permitir que los medios de almacenamiento térmico se introduzcan a través de una entrada hacia la parte superior del silo (por ejemplo, usando un transportador helicoidal inclinado) y extraído a través de una salida en la parte inferior de la sección de tolva bajo la fuerza de la gravedad. Algunos de estos aparatos de manipulación de materiales también pueden incluirse como parte de un sistema de transporte como se describe en el presente documento.

40 En las Figuras 9-11, la cámara de almacenamiento en frío 2606 y la cámara de almacenamiento en caliente 2610 se ilustran esquemáticamente como un solo silo/cámara, pero en la práctica pueden incluir dos o más cámaras separadas a las que se puede acceder al unísono o independientemente utilizando aparatos de manejo y transporte de material adecuados. En determinadas realizaciones preferentes, la cámara de almacenamiento de sólidos en frío 2606 y la cámara de almacenamiento de sólidos en caliente 2610 pueden estar separadas físicamente y aisladas de manera fluida entre sí. Esto puede ayudar a evitar la transferencia de calor entre la cámara de almacenamiento en frío 2606 y la cámara de almacenamiento en caliente 2610 cuando el sistema 10 está en uso.

50 Cada una de la cámara de almacenamiento en frío 2606 y la cámara de almacenamiento en caliente 2610 puede dimensionarse (ya sea como un solo silo o dos o más silos) para acomodar una cantidad total deseada del medio de almacenamiento térmico sólido, que preferiblemente es suficiente para absorber la cantidad total de energía térmica que se desea extraer del gas comprimido a medida que fluye desde el subsistema de compresor/expansor 2100 y hacia el acumulador 12. Esto puede permitir que al menos sustancialmente todos los medios de almacenamiento térmico sólido se almacenen dentro de la cámara de almacenamiento en frío 2606 cuando el acumulador 12 no está cargado (es decir, cuando no se almacena sustancialmente aire presurizado) y que al menos sustancialmente todo el medio de almacenamiento térmico sólido se almacene dentro de la cámara de almacenamiento en caliente 2610 cuando el acumulador 12 está completamente cargado. Cuando el sistema está operando en el modo de carga o descarga, la cantidad total del medio de almacenamiento térmico sólido puede distribuirse entre las dos cámaras de almacenamiento 2606 y 2610, así como dentro de una cámara de mezcla 2635 como se describe en el presente documento. En algunas etapas de funcionamiento de los sistemas 10, algunos medios de almacenamiento térmico sólidos, granulares se pueden almacenar en la cámara de almacenamiento en caliente 2610 habiéndose calentado previamente, algunos pueden estar en proceso de calentamiento o enfriamiento dentro de la cámara de mezcla 2635 y algunos pueden almacenarse como medios de almacenamiento térmico frío en la cámara de almacenamiento en frío 2606. Una parte dada del medio de almacenamiento térmico sólido también puede experimentar los tres estados a lo largo del tiempo y puede seguir un ciclo de uso en el que comienza en frío, se calienta en la cámara de mezcla 2635 por el gas que entra en el acumulador 12, se transfiere y almacena en la cámara de almacenamiento en caliente 2610, se devuelve a la cámara de mezcla 2635 y se enfría por el gas que sale del acumulador 12, y se devuelve como material enfriado para su almacenamiento en la cámara de almacenamiento en frío 2606.

Opcionalmente, y preferiblemente en algunos casos, la cámara de mezcla 2635 puede tener un interior que está dimensionado para ser más pequeño que cualquiera o ambas de las cámaras de almacenamiento 2606 y 2610 de modo que solo una parte del medio de almacenamiento térmico sólido pueda mantenerse dentro de la cámara de mezcla 2635 en un momento dado.

En el ejemplo ilustrado, la cámara de almacenamiento en frío 2606 está configurada para contener los medios de almacenamiento térmico a una temperatura fría y una presión de almacenamiento en frío, mientras que la cámara de almacenamiento en caliente 2610 está configurada para contener el suministro de partículas de transferencia de calor granulares a una temperatura caliente y una presión de almacenamiento en caliente.

Como se utiliza en esta descripción, la expresión temperatura fría pretende referirse a una temperatura que es relativamente más fría o más baja que la temperatura del gas comprimido que está saliendo de una etapa de compresiones respectiva cuando está en el modo de carga, y también es relativamente más baja que la temperatura o temperaturas calientes descritas en el presente documento. Proporcionar el material en este nivel relativamente más bajo, la temperatura fría puede ayudar a facilitar una transferencia de energía térmica fuera del gas comprimido y al material de almacenamiento térmico que puede permitir un enfriamiento del gas y, opcionalmente, el almacenamiento/preservación de la energía térmica como se describe. De esta forma, se entiende que la temperatura fría es un término relativo y no se limita a un intervalo específico o absoluto de temperaturas. De manera similar, el término temperatura caliente se usa para referirse a una temperatura que es más caliente o más alta que la temperatura esperada del gas que pasará a través del aparato de almacenamiento térmico cuando está en el modo de descarga, y es relativamente más alta que la temperatura fría. Proporcionar el material a esta temperatura relativamente más caliente o más caliente puede ayudar a facilitar la transferencia de energía térmica del material de almacenamiento térmico al gas a medida que fluye a través del subsistema de almacenamiento térmico que puede ayudar a facilitar el calentamiento del gas. De esta forma, se entiende que la temperatura caliente es un término relativo y no se limita a un intervalo específico o absoluto de temperaturas, aunque en la mayoría de los casos la temperatura caliente será más alta que la temperatura fría para un sistema dado. También se prefiere que la temperatura caliente esté por encima de la temperatura de almacenamiento esperada del gas dentro del acumulador.

Por ejemplo, en algunas realizaciones de los sistemas descritos en el presente documento, la temperatura fría puede ser más fría que la temperatura de almacenamiento en caliente del sistema respectivo, y puede ser aproximadamente la misma que un entorno ambiente u, opcionalmente, puede ser una temperatura que es diferente a la temperatura ambiental y/o puede estar entre aproximadamente 10 grados Celsius y aproximadamente 40 grados Celsius o más (por ejemplo, opcionalmente lo mismo que el depósito fuente 606), y la temperatura caliente puede estar entre aproximadamente 150 y aproximadamente 500 grados Celsius, y preferiblemente puede estar entre aproximadamente 150 y 350 grados Celsius (por ejemplo, opcionalmente igual que el depósito de almacenamiento 610) pero puede estar más caliente si se desea, ya que el riesgo de ebullición/evaporación de los medios de almacenamiento térmico se reduce cuando se usan partículas de almacenamiento térmico sólidas (en comparación con el uso de un medio de almacenamiento térmico líquido).

La presión de almacenamiento en frío puede ser cualquier presión deseable y preferiblemente es aproximadamente la presión atmosférica. Esto puede reducir y/o eliminar la necesidad de sellar y presurizar la cámara de almacenamiento en frío 2606. La presión de almacenamiento en caliente puede ser cualquier presión deseable y, preferiblemente, también es aproximadamente la presión atmosférica. Esto puede facilitarse mediante el uso del medio de almacenamiento térmico sólido que no requiere presurización de la cámara de almacenamiento en caliente 2610 para mantener el medio de almacenamiento térmico caliente en un estado físico deseado. Esto puede reducir y/o eliminar la necesidad de sellar y presurizar la cámara de almacenamiento en caliente 2610. La presión de mezcla puede ser opcionalmente mayor que la presión de almacenamiento en frío y/o la presión de almacenamiento en caliente y puede ser, en algunas realizaciones, sustancialmente la misma que la presión de almacenamiento del acumulador (es decir, la presión dentro de la trayectoria de flujo de gas). Como alternativa, la cámara de mezcla 2635 puede incluir un aparato o aparatos de presurización adecuados que pueden alterar su presión interior independientemente de la presión de la trayectoria del flujo de gas.

A modo de ejemplo no limitante, la cámara de almacenamiento de sólidos en caliente 2610 puede configurarse para funcionar a menos de aproximadamente el 10 % de la presión de la cámara de mezcla 2635. Preferiblemente, la cámara de almacenamiento de sólidos en caliente 2610 puede configurarse para funcionar a o aproximadamente a la presión atmosférica. En determinadas realizaciones, la cámara de almacenamiento de sólidos en frío 2606 puede estar a una presión más baja que la cámara de mezcla 2635. A modo de ejemplo no limitante, la cámara de almacenamiento de sólidos en caliente 2606 puede configurarse para funcionar a menos de aproximadamente el 10 % de la presión de la cámara de mezcla 2635.

Cuando el subsistema de almacenamiento térmico 2120 está en uso, el medio de almacenamiento térmico sólido se transporta entre la cámara de almacenamiento en frío 2606, la cámara de almacenamiento en caliente 2610 y la cámara de mezcla 2635 como se describe en el presente documento y, en consecuencia, el subsistema de almacenamiento térmico 2120 incluye preferiblemente un tipo adecuado de sistema de transporte que puede ser operable para mover selectivamente las partículas de transferencia de calor granulares desde la cámara de

almacenamiento en frío, a través de la primera cámara de mezcla y dentro de la cámara de almacenamiento en caliente, y viceversa. Esto puede incluir cintas transportadoras, transportadores de cangilones, transportadores helicoidales, tolvas, cangilones y similares junto con motores adecuados, accionadores, válvulas, dispositivos de limitación y dirección de flujo y similares. Con fines ilustrativos, la trayectoria de flujo de los medios de almacenamiento térmico se muestra esquemáticamente en la Figura 9-11, pero no se muestran las características del sistema de transporte.

En esta realización, cuando un sistema de almacenamiento de energía de aire comprimido dado está en su modo de carga: i) las partículas de transferencia de calor granulares pueden transportarse de la cámara de almacenamiento en frío 2606 a la primera cámara de mezcla 2635, ii) la energía térmica puede transferirse a las partículas de transferencia de calor granulares dentro de la cámara de mezcla 2635 desde la corriente de gas comprimido 2700 que se transporta al acumulador 12 a través de la primera cámara de mezcla calentando de este modo las partículas de transferencia de calor granulares y enfriando el gas comprimido, y iii) las partículas de transferencia de calor granulares calentadas pueden transportarse desde la primera cámara de mezcla 2635 a la cámara de almacenamiento en caliente 2610 para su almacenamiento. Con una primera parte de partículas de almacenamiento térmico calentadas, una segunda parte de partículas de transferencia de calor granulares frías puede tomarse de la cámara de almacenamiento en frío y transportarse al interior de la cámara de mezcla 2635. La segunda parte de partículas de transferencia de calor granulares frías pueden mezclarse con el gas en el interior con el gas comprimido que se desplaza desde el subsistema de compresor/expansor de gas hacia el interior del acumulador, transfiriendo así energía térmica del gas comprimido a la segunda parte de partículas de transferencia de calor granulares frías y proporcionando una segunda parte de partículas de transferencia de calor granulares calentadas. La segunda parte de partículas de transferencia de calor granulares calentadas se puede mover desde el interior de la cámara de mezcla 2635 a una cámara de almacenamiento en caliente 2610. Este proceso puede repetirse para partes adicionales del medio de almacenamiento térmico a medida que se retira de la cámara de almacenamiento en frío 2606. Opcionalmente, el tiempo entre mover partes adicionales de medios de almacenamiento térmico a la cámara de mezcla puede ser menor que el tiempo de residencia de los medios de almacenamiento térmico en la cámara de mezcla, de modo que al menos una fracción de la parte anterior de medios de almacenamiento térmico todavía esté presente en la cámara de mezcla cuando la siguiente parte de medios de almacenamiento térmico se introduce en la cámara de mezcla. Opcionalmente, el tiempo entre mover partes adicionales de medios de almacenamiento térmico a la cámara de mezcla puede ser sustancialmente menor que el tiempo de residencia de los medios de almacenamiento térmico en la cámara de mezcla, de modo que múltiples partes de medios de almacenamiento térmico estén presentes en la cámara de mezcla a la vez.

La cámara de mezcla 2635, la cámara de almacenamiento en caliente 2610 y las partes calientes asociadas del sistema de transporte están preferiblemente aisladas para ayudar a reducir la pérdida de calor del almacenamiento, medios de almacenamiento térmico relativamente calientes y el entorno circundante. Este aislamiento térmico puede ser de cualquier tipo adecuado y no se muestra en detalle en las figuras esquemáticas.

Preferiblemente, el subsistema de almacenamiento térmico 2120 está configurado de modo que solo una parte del medio de almacenamiento térmico se extrae de la cámara de almacenamiento en frío 2606 y se mueve hacia la cámara de mezcla 2635 en un momento dado, en comparación con simplemente pasar la corriente de gas caliente a través de la totalidad (o sustancialmente la totalidad) de los medios de almacenamiento térmico frío al mismo tiempo (por ejemplo, si la trayectoria del flujo de gas se encaminara a través de la cámara de almacenamiento en frío 2606). En esta disposición, una primera parte más pequeña del medio de almacenamiento térmico frío se mezcla con la corriente de gas caliente entrante. Esto puede ayudar a proporcionar un grado de temperatura relativamente grande entre el gas y el medio de almacenamiento térmico (es decir, una gran diferencia de temperatura entre el gas que entra en la cámara de mezcla y el medio de almacenamiento térmico que entra en la cámara de mezcla). Tener un grado de temperatura relativamente grande entre el gas y el medio de almacenamiento térmico puede ayudar a aumentar la eficiencia de la transferencia de calor entre el gas y el medio de almacenamiento térmico.

A medida que la primera parte del medio de almacenamiento térmico se calienta por el gas, su temperatura aumentará, lo que reducirá el grado de temperatura entre el gas y los medios de almacenamiento térmico y puede reducir la eficiencia de transferencia de calor del sistema de almacenamiento térmico 2120. Preferiblemente, la primera parte del medio de almacenamiento térmico se transfiere a continuación fuera de la cámara de mezcla 2635 y a la cámara de almacenamiento en caliente 2610, y una nueva segunda parte del medio de almacenamiento térmico a la temperatura de almacenamiento en frío se puede transferir a la cámara de mezcla 2635. Esto puede restablecer entonces el grado de temperatura relativamente mayor entre el gas y los medios de almacenamiento térmico y, de este modo, aumentar la eficiencia de transferencia de calor del sistema de almacenamiento térmico 2120. Preferiblemente, la corriente de gas fluye a través de la cámara de mezcla 2635 de manera generalmente continua durante el modo de carga, mientras que los medios de almacenamiento térmico pueden moverse a través de la cámara de mezcla 2635 de manera generalmente continua o, como alternativa, de manera intermitente o por lotes. Opcionalmente, el caudal del medio de almacenamiento térmico puede seleccionarse de tal manera que se logre una temperatura de aproximación suficientemente baja (diferencia de temperatura entre el gas que sale de la cámara de mezcla y el medio térmico que entra en la cámara de mezcla). Opcionalmente, el caudal de los medios térmicos puede seleccionarse de modo que la temperatura de aproximación esté entre 5 °C y 40 °C o entre 10 °C y 20 °C.

Esta realización de un subsistema de almacenamiento térmico 2120 también puede ayudar a facilitar la transferencia de calor durante una carga o descarga parcial de los sistemas 10 descritos en el presente documento. Específicamente, ya que solo una parte relativamente pequeña del medio de almacenamiento térmico se está mezclando con el flujo de gas en un momento dado, si el sistema 10 solo se carga parcialmente, al menos algunos de los medios de almacenamiento térmico en frío pueden permanecer "sin usar" dentro de la cámara de almacenamiento en frío 2606 y no necesitan entrar en la cámara de mezcla 2635 o calentarse por el gas. Es decir, cada parte de las partículas de almacenamiento térmico en frío que se transfiere desde la cámara de almacenamiento en frío 2606 es preferiblemente menor que la capacidad total de la cámara de almacenamiento en frío 2606 (y viceversa cuando se opera en el modo de descarga). Esto puede ayudar a permitir que la parte del medio de almacenamiento térmico que se calienta se caliente a la temperatura de almacenamiento deseada (lo que puede ayudar a mejorar la eficiencia) en lugar de tener el sistema configurado para calentar todos los medios de transferencia térmica a una temperatura de almacenamiento más baja (suponiendo que una cantidad fija de energía térmica está disponible para transferirse del gas al medio de almacenamiento térmico cuando está en el modo de carga). De manera similar, si el sistema 10 solo se descarga parcialmente, entonces al menos algunos de los medios de almacenamiento térmico calientes pueden permanecer almacenados dentro de la cámara de almacenamiento en caliente 2610 y no necesitan mezclarse con el gas que sale del acumulador 12. Esto puede permitir que algunos de los medios de almacenamiento térmico calientes se mantengan en reserva a su temperatura de almacenamiento deseada para calentar la siguiente parte de gas extraído del acumulador en lugar de que la totalidad de los medios de almacenamiento térmico calientes se enfríen parcialmente por exposición a un flujo de gas de descarga parcial.

Quando el sistema 10 está suficientemente cargado, puede funcionar en su modo de almacenamiento en el que el gas no fluye hacia dentro ni hacia fuera del acumulador 12. En este modo, no es necesario que haya movimiento de los medios de almacenamiento térmico entre la cámara de almacenamiento en frío 2606, la cámara de almacenamiento en caliente 2610 y la cámara de mezcla 2635.

Quando el sistema de almacenamiento de energía de gas comprimido 10 se hace funcionar en modo de descarga, el proceso descrito anteriormente puede invertirse. Es decir, por ejemplo i) las partículas de transferencia de calor granulares pueden transportarse desde la cámara de almacenamiento en caliente 2610 a la primera cámara de mezcla 2635, ii) la energía térmica puede transferirse desde las partículas de transferencia de calor granulares dentro de la cámara de mezcla 2635 a la corriente de gas comprimido que se transporta fuera del acumulador 12 a través de la primera cámara de mezcla 2635, enfriando de este modo las partículas de transferencia de calor granulares y calentando el gas comprimido y iii) las partículas de transferencia de calor granulares frías pueden transportarse de la primera cámara de mezcla 2635 a la cámara de almacenamiento en frío 2606 para su almacenamiento.

Quando se opera de esta manera, una primera parte más pequeña del medio de almacenamiento térmico caliente se mezcla con la corriente de gas relativamente fría que sale del acumulador. Esto puede ayudar a proporcionar un grado de temperatura relativamente grande entre el gas y el medio de almacenamiento térmico (es decir, una gran diferencia de temperatura entre el gas que entra en la cámara de mezcla y el medio de almacenamiento térmico que entra en la cámara de mezcla). A medida que la primera parte del medio de almacenamiento térmico se enfría por el gas, su temperatura disminuirá, lo que reducirá el grado de temperatura entre el gas y los medios de almacenamiento térmico y puede reducir la eficiencia de transferencia de calor del sistema de almacenamiento térmico 2120. Preferiblemente, la primera parte del medio de almacenamiento térmico se transfiere a continuación fuera de la cámara de mezcla 2635 y a la cámara de almacenamiento en frío 2610, y una nueva segunda parte del medio de almacenamiento térmico a la temperatura de almacenamiento en caliente se puede transferir a la cámara de mezcla 2635. Opcionalmente, esta transferencia se puede realizar de manera continua en la que al menos parte de la primera parte de las partículas de almacenamiento térmico permanece en la cámara de mezcla 2635 a medida que parte de la segunda parte de partículas de almacenamiento térmico frío se introduce en la entrada 2810. Esto puede restablecer entonces el grado de temperatura relativamente mayor entre el gas y los medios de almacenamiento térmico y, de este modo, aumentar la eficiencia de transferencia de calor del sistema de almacenamiento térmico 2120. Preferiblemente, la corriente de gas fluye a través de la cámara de mezcla 2635 de manera generalmente continua durante el modo de carga, mientras que los medios de almacenamiento térmico pueden moverse a través de la cámara de mezcla 2635 de manera generalmente continua o, como alternativa, de manera intermitente o por lotes. Opcionalmente, el caudal del medio de almacenamiento térmico puede seleccionarse de tal manera que se logre una temperatura de aproximación suficientemente baja (diferencia de temperatura entre el gas que sale de la cámara de mezcla y el medio térmico que entra en la cámara de mezcla). Opcionalmente, el caudal de los medios térmicos puede seleccionarse de modo que la temperatura de aproximación esté entre 5 °C y 40 °C o entre 10 °C y 20 °C.

Haciendo referencia de nuevo a las figuras 9-11, en esta realización del subsistema de almacenamiento térmico 2120, la primera cámara de mezcla 2635 puede conectarse al acumulador 12 y al subsistema de compresor/expansor 2100 mediante la trayectoria de flujo de gas 2700 y también puede conectarse a la cámara de almacenamiento de sólidos en frío 2606 y la cámara de almacenamiento de sólidos en caliente 2610 por una trayectoria de flujo sólido 2800. A modo de ejemplo no limitante, la trayectoria de flujo sólido puede incluir un sistema transportador que puede configurarse para mover de manera selectiva los medios de almacenamiento térmico sólidos desde la cámara de almacenamiento de sólidos en frío 2606, a través de la primera cámara de mezcla 2635, en la cámara de almacenamiento de sólidos en caliente 2610 durante la fase de carga, o para mover los medios de almacenamiento térmico sólidos desde la cámara de almacenamiento de sólidos en caliente 2610, a través de la primera cámara de

mezcla 2635, en la cámara de almacenamiento de sólidos en frío 2606 durante la fase de descarga.

La Figura 10A es una vista esquemática de una disposición preferida de los componentes del subsistema de almacenamiento térmico de medios de almacenamiento térmico sólidos 2120 de la Figura 9, que muestra el flujo de aire y los flujos de movimiento de medios térmicos sólidos durante un modo de compresión (carga). En este modo, el aire ambiente puede ser aspirado a través de la entrada de gas 2170 transportado a través del sistema de compresor/expansor 2100 y luego al interior de la cámara de mezcla 2635 a través de una entrada de gas 2710 que se proporciona hacia un extremo inferior de la primera cámara de mezcla 2635. En ciertas realizaciones preferidas, la presión del gas de entrada en 2710 puede ser aproximadamente la misma presión que el gas presurizado deseado en el acumulador 12.

En o aproximadamente al mismo tiempo que el gas se dirige a través de la trayectoria de flujo de gas 2700 a la primera cámara de mezcla 2635, el medio de almacenamiento térmico granular se transfiere desde la cámara de almacenamiento en frío 2606 y se introduce en el interior de la cámara de mezcla 2635 a través de una partícula entrada 2810, que puede incluir uno o más de los puertos de adecuados, que se proporciona preferiblemente hacia el extremo superior de la cámara de mezcla 2635 y preferiblemente está por encima de la entrada de gas 2710. El medio de almacenamiento térmico puede caer entonces hacia abajo a través de la cámara de mezcla 2635 en una primera dirección y puede mezclarse con el gas. En esta realización, durante la fase de carga, el gas se desplaza generalmente hacia arriba y el medio de almacenamiento térmico se desplaza generalmente hacia abajo dentro de la cámara de mezcla 2635 (y puede considerarse que está en una configuración de contraflujo). A modo de ejemplo no limitante, el medio de almacenamiento térmico sólido en la entrada 2810 puede tener una temperatura de 10 °C - 50 °C.

Dentro de la cámara de mezcla 2635, los medios de almacenamiento térmico sólidos relativamente más fríos de la cámara de almacenamiento en frío 2606 pueden moverse por gravedad desde la parte superior de la primera cámara de mezcla 2635 hasta la parte inferior de la primera cámara de mezcla, contactando directamente con el gas que viaja a través de la cámara de mezcla 2635 de modo que el gas transfiera cualquier exceso de calor a los medios de almacenamiento térmico sólidos fríos. Los medios de almacenamiento térmico sólidos más calientes resultantes se retirarán de la cámara de mezcla 2635 a través de una salida de partículas 2820, que puede incluir uno o más puertos, y el gas relativamente más frío puede salir a través de una salida de gas 2720. El medio de almacenamiento térmico caliente puede transferirse a continuación a la cámara de almacenamiento en caliente 2610. A modo de ejemplo no limitante, el medio de almacenamiento térmico sólido en la salida 2820 puede tener una temperatura de 150 °C - 350 °C.

En determinadas realizaciones preferentes, una o ambas de la entrada de partículas 2810 y la salida de partículas 2820 pueden incluir cualquier aparato de regulación de presión adecuado que pueda permitir que los medios de transferencia de calor térmicos sólidos se transfieran dentro y fuera de la cámara de mezcla 2635 sin permitir que el gas de presión relativamente más alta escape de la cámara de mezcla 2635. Esto puede ayudar a mantener la presión deseada dentro de la primera cámara de mezcla 2635. A modo de ejemplo no limitante, los aparatos de regulación de presión 2910 y 2920 se proporcionan en la entrada 2810 y la salida 2820 de partículas, respectivamente, y puede ser de cualquier configuración adecuada y puede incluir un dispositivo de esclusa de aire de múltiples cámaras, esclusa de aire de doble descarga, flujo de aire de doble aleta, educador, válvulas giratorias, un sistema giratorio, un sistema de vacío de alta presión, una bomba peristáltica y similares. Los aparatos de regulación de presión 2910 y 2920 pueden ser iguales o pueden ser diferentes.

El gas que sale de la primera cámara de mezcla 2635 a través de su salida de gas 2720 tendrá un conjunto específico de condiciones de salida de gas de modo que la presión del gas de salida sea aproximadamente la misma presión que el gas presurizado deseado en el acumulador 12 o la presión de entrada deseada como la siguiente etapa de compresión (para realizaciones donde hay más de una etapa de compresión), y la temperatura de salida de gas en 2720 es menor que la temperatura de entrada de gas en la entrada 2710. La caída de temperatura en el gas en una realización dada puede depender de una variedad de factores que incluyen 1) el número de etapas de compresión, con caídas de temperatura más grandes generalmente utilizadas cuando se usan menos etapas de compresión; y 2) la presión del acumulador (es decir, la profundidad del acumulador), con una mayor caída de temperatura generalmente utilizada para una mayor presión del acumulador. Por ejemplo, para una realización de 2 compresiones, se puede utilizar una caída de temperatura de 250 °C - 350 °C, mientras que para una realización de 3-compresión se puede utilizar una caída de temperatura de 125 °C a 200 °C por etapa. El gas que sale de la primera cámara de mezcla 2635 puede transportarse al acumulador 12.

En determinadas realizaciones, ese subsistema de almacenamiento térmico 2120 puede incluir una pluralidad de cámaras de mezcla, cada una con una etapa de compresión/expansión asociada. En dichas realizaciones, cada cámara de mezcla puede estar dispuesta en serie, de modo que durante la fase de carga, el gas puede comprimirse a través de un primer compresor a una primera cámara de mezcla, luego se comprime aún más a través de un segundo compresor a una segunda cámara de mezcla y así sucesivamente, en donde el gas transfiere calor a un medio de almacenamiento térmico sólido relativamente frío en cada cámara de mezcla consecutiva hasta que el gas que sale de la cámara de mezcla final se transfiere al acumulador 12.

La Figura 11 es una vista esquemática de los componentes del subsistema de almacenamiento térmico de medios de

almacenamiento térmico sólidos 2120 de la Figura 9, que muestra el flujo de aire durante un modo de expansión (descarga). En este modo, el aire comprimido puede transportarse desde el acumulador 12 a través de una entrada de gas 2730 que está ubicada hacia el extremo inferior de la primera cámara de mezcla 2635. La entrada de gas 2730 puede ser el mismo puerto que funciona como la salida de gas 2720 cuando está en el modo de carga o puede estar separada. En ciertas realizaciones preferidas, la presión del gas de entrada en 2730 puede ser aproximadamente la misma presión que el gas presurizado deseado en el acumulador 12. El gas que sale de la primera cámara de mezcla 2635 puede expandirse a continuación a través del primer expansor del compresor y el sistema de expansión 2100 de manera que el gas que sale del compresor y el sistema de expansión 2100 esté aproximadamente a la presión atmosférica. El gas que sale del compresor y del sistema de expansión 2100 puede transferirse a la atmósfera.

La salida de gas 2740 puede ser el mismo puerto que funciona como la entrada de gas 2710 cuando está en el modo de carga o puede estar separada.

En o aproximadamente al mismo tiempo que el gas se dirige desde el acumulador 12 al fondo de la primera cámara de mezcla 2635 y se extrae del extremo superior de la cámara de mezcla 2635, los medios de almacenamiento térmico sólidos calientes pueden transportarse a lo largo de la trayectoria de flujo sólido 2800 y hacia la entrada de partículas 2810 que está ubicada hacia el extremo superior de la cámara de mezcla 2635. Esto permite que las partículas de almacenamiento térmico calientes caigan hacia abajo por gravedad a través de la cámara de mezcla 2635, y viajen en la dirección opuesta a la que viajan las partículas de almacenamiento térmico durante el modo de carga. En esta disposición, el gas y las partículas de almacenamiento térmico viajan a través de la cámara de mezcla 2635 en direcciones opuestas (y pueden estar en una disposición de contraflujo).

La Figura 10B es una vista esquemática de una disposición alternativa de los componentes del subsistema de almacenamiento térmico de medios de almacenamiento térmico sólidos 2120 de la Figura 9, que muestra el flujo de aire y los flujos de movimiento de medios térmicos sólidos durante un modo de compresión (carga). En este modo, el aire ambiente puede ser aspirado a través de la entrada de gas 2170 transportado a través del sistema de compresor/expansor 2100 y luego al interior de la cámara de mezcla 2635 a través de una entrada de gas 2710 que se proporciona hacia un extremo superior de la primera cámara de mezcla 2635. En ciertas realizaciones preferidas, la presión del gas de entrada en 2710 puede ser aproximadamente la misma presión que el gas presurizado deseado en el acumulador 12.

En o aproximadamente al mismo tiempo que el gas se dirige a través de la trayectoria de flujo de gas 2700 a la primera cámara de mezcla 2635, el medio de almacenamiento térmico granular se transfiere desde la cámara de almacenamiento en frío 2606 y se introduce en el interior de la cámara de mezcla 2635 a través de una partícula entrada 2810, que puede incluir uno o más de los puertos de adecuados, que se proporciona preferiblemente hacia el extremo superior de la cámara de mezcla 2635 y preferiblemente está por encima de la entrada de gas 2710. El medio de almacenamiento térmico puede caer entonces hacia abajo a través de la cámara de mezcla 2635 en una primera dirección y puede mezclarse con el gas. En esta realización, durante la fase de carga, el gas se desplaza generalmente hacia abajo y el medio de almacenamiento térmico también se desplaza generalmente hacia abajo dentro de la cámara de mezcla 2635 (y puede considerarse que está en una configuración de flujo conjunto). A modo de ejemplo no limitante, el medio de almacenamiento térmico sólido en la entrada 2810 puede tener una temperatura de 10 °C - 50 °C.

Dentro de la cámara de mezcla 2635, los medios de almacenamiento térmico sólidos relativamente más fríos de la cámara de almacenamiento en frío 2606 pueden moverse por gravedad desde la parte superior de la primera cámara de mezcla 2635 hasta la parte inferior de la primera cámara de mezcla, contactando directamente con el gas que viaja a través de la cámara de mezcla 2635 de modo que el gas transfiera cualquier exceso de calor a los medios de almacenamiento térmico sólidos fríos. Los medios de almacenamiento térmico sólidos más calientes resultantes se retirarán de la cámara de mezcla 2635 a través de una salida de partículas 2820, que puede incluir uno o más puertos, y el gas relativamente más frío puede salir a través de una salida de gas 2720. El medio de almacenamiento térmico caliente puede transferirse a continuación a la cámara de almacenamiento en caliente 2610. A modo de ejemplo no limitante, el medio de almacenamiento térmico sólido en la salida 2820 puede tener una temperatura de 150 °C - 350 °C.

En determinadas realizaciones preferentes, una o ambas de la entrada de partículas 2810 y la salida de partículas 2820 pueden incluir cualquier aparato de regulación de presión adecuado que pueda permitir que los medios de transferencia de calor térmicos sólidos se transfieran dentro y fuera de la cámara de mezcla 2635 sin permitir que el gas de presión relativamente más alta escape de la cámara de mezcla 2635. Esto puede ayudar a mantener la presión deseada dentro de la primera cámara de mezcla 2635. A modo de ejemplo no limitante, los aparatos de regulación de presión 2910 y 2920 se proporcionan en la entrada 2810 y la salida 2820 de partículas, respectivamente, y puede ser de cualquier configuración adecuada y puede incluir un dispositivo de esclusa de aire de múltiples cámaras, esclusa de aire de doble descarga, flujo de aire de doble aleta, educador, válvulas giratorias, un sistema giratorio, un sistema de vacío de alta presión y similares. Los aparatos de regulación de presión 2910 y 2920 pueden ser iguales o pueden ser diferentes.

El gas que sale de la primera cámara de mezcla 2635 a través de su salida de gas 2720 tendrá un conjunto específico

de condiciones de salida de gas de modo que la presión del gas de salida sea aproximadamente la misma presión que el gas presurizado deseado en el acumulador 12 o la presión de entrada deseada como la siguiente etapa de compresión (para realizaciones donde hay más de una etapa de compresión), y la temperatura de salida de gas en 2720 es menor que la temperatura de entrada de gas en la entrada 2710. La caída de temperatura en el gas en una  
5 realización dada puede depender de una variedad de factores que incluyen 1) el número de etapas de compresión, con caídas de temperatura más grandes generalmente utilizadas cuando se usan menos etapas de compresión; y 2) la presión del acumulador (es decir, la profundidad del acumulador), con una mayor caída de temperatura generalmente utilizada para una mayor presión del acumulador. Por ejemplo, para una realización de 2 compresiones, se puede utilizar una caída de temperatura de 250 °C - 350 °C, mientras que para una realización de 3-compresión se  
10 puede utilizar una caída de temperatura de 125 °C a 200 °C por etapa. El gas que sale de la primera cámara de mezcla 2635 puede transportarse al acumulador 12.

En determinadas realizaciones, ese subsistema de almacenamiento térmico 2120 puede incluir una pluralidad de cámaras de mezcla, cada una con una etapa de compresión/expansión asociada. En dichas realizaciones, cada  
15 cámara de mezcla puede estar dispuesta en serie, de modo que durante la fase de carga, el gas puede comprimirse a través de un primer compresor a una primera cámara de mezcla, luego se comprime aún más a través de un segundo compresor a una segunda cámara de mezcla y así sucesivamente, en donde el gas transfiere calor a un medio de almacenamiento térmico sólido relativamente frío en cada cámara de mezcla consecutiva hasta que el gas que sale de la cámara de mezcla final se transfiere al acumulador 12.

En determinadas realizaciones, ese subsistema de almacenamiento térmico 2120 puede incluir una pluralidad de cámaras de mezcla, cada una con un expansor o etapa de expansión asociada. En dichas realizaciones, cada cámara de mezcla puede estar dispuesta en serie, de modo que durante la fase de descarga, el gas puede ser expansor a  
20 través de un primer expansor a una primera cámara de mezcla, luego se expande aún más a través de un segundo expansor a una segunda cámara de mezcla y así sucesivamente, en donde el medio de almacenamiento térmico transfiere calor a un gas relativamente frío en cada cámara de mezcla consecutiva hasta que el gas que sale de la cámara de mezcla final se transfiere al expansor final, y en donde el gas que sale del último expansor en la serie de expansores está a o aproximadamente la presión atmosférica.

30 En determinadas realizaciones, las cámaras de mezcla que se usan durante la carga son preferiblemente las mismas que las cámaras de mezcla que se usan durante la descarga. Para estas realizaciones, es preferible tener el mismo número de etapas de compresión que etapas de expansión.

35 Lo que se ha descrito anteriormente se ha pretendido que sea ilustrativo de la invención y no limitante y los expertos en la materia entenderán que se pueden realizar otras variantes y modificaciones sin alejarse del alcance de la invención como se define en las reivindicaciones adjuntas al presente documento.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema de almacenamiento de energía de aire comprimido que comprende:

- 5 a) un acumulador (12) dispuesto bajo tierra y que tiene un interior configurado para contener gas comprimido a una presión de almacenamiento que es de al menos 10 bar cuando está en uso;
- b) un subsistema de compresor/expansor de gas (100) que comprende al menos una primera etapa de compresión que tiene una primera entrada de gas y una salida de gas en comunicación fluida con el interior del acumulador a través de una trayectoria de flujo de gas para transportar gas comprimido a la presión de almacenamiento al acumulador cuando está en un modo de carga y desde el acumulador cuando está en un modo de descarga;
- 10 c) un subsistema (2120) de almacenamiento térmico que comprende:
  - i) una cámara de almacenamiento en frío (2606) para contener un suministro de partículas de transferencia de calor granulares a una temperatura fría y presión de almacenamiento en frío;
  - 15 ii) una cámara de almacenamiento en caliente (2610) para contener el suministro de partículas de transferencia de calor granulares a una temperatura caliente y presión de almacenamiento en caliente;
  - iii) al menos una primera cámara de mezcla (2635) en la trayectoria de flujo de gas y que tiene un interior en el que el sistema está dispuesto de tal manera que, durante el uso, en el interior de la primera cámara de mezcla, el gas comprimido entra en contacto con las partículas de transferencia de calor granulares a una presión de mezcla que es mayor que la presión de almacenamiento en frío y la presión de almacenamiento en caliente, comprendiendo la primera cámara de mezcla:
    - 20 A. una entrada de gas (2710) por la que el gas comprimido puede entrar en la primera cámara de mezcla,
    - B. una salida de gas (2720) por la que el gas comprimido puede salir de la primera cámara de mezcla,
    - 25 C. una entrada de partículas (2810) por la que las partículas de transferencia de calor granulares pueden entrar en la primera cámara de mezcla; y
    - D. una salida de partículas (2820) por la que las partículas de transferencia de calor granulares pueden salir de la primera cámara de mezcla;
  - 30 iv) un sistema de transporte operable para mover selectivamente las partículas de transferencia de calor granulares desde la cámara de almacenamiento en frío, a través de la primera cámara de mezcla y dentro de la cámara de almacenamiento en caliente, y viceversa;

en donde:

- 35 cuando el sistema de almacenamiento de energía de aire comprimido está en el modo de carga i) las partículas de transferencia de calor granulares se transportan de la cámara de almacenamiento en frío a la primera cámara de mezcla, ii) la energía térmica se transfiere a las partículas de transferencia de calor granulares dentro de la cámara de mezcla desde la corriente de gas comprimido que se transporta al acumulador a través de la primera cámara de mezcla, calentando de este modo las partículas de transferencia de calor granulares y enfriando el gas comprimido, y iii) las partículas de transferencia de calor granulares calentadas se transportan desde la primera cámara de mezcla hacia la cámara de almacenamiento en caliente para su almacenamiento y la corriente comprimida se transporta desde la primera cámara de mezcla hacia el acumulador para su almacenamiento;
- 40 cuando el sistema de almacenamiento de energía de gas comprimido está en el modo de descarga i) las partículas de transferencia de calor granulares se transportan de la cámara de almacenamiento en caliente a la primera cámara de mezcla, ii) la energía térmica se transfiere de las partículas de transferencia de calor granulares dentro de la cámara de mezcla a la corriente de gas comprimido que se transporta fuera del acumulador a través de la primera cámara de mezcla, enfriando de este modo las partículas de transferencia de calor granulares y calentando el gas comprimido y iii) las partículas de transferencia de calor granulares frías se transportan desde la primera cámara de mezcla hacia la cámara de almacenamiento en frío para su almacenamiento y la corriente comprimida calentada se transporta desde la primera cámara de mezcla hacia el subsistema de compresor/expansor para su expansión; y
- 45 el sistema de transporte comprende una esclusa de aire de entrada (2910) en la entrada de partículas que es operable para permitir el paso de las partículas de transferencia de calor granulares a la temperatura de almacenamiento fría o caliente al interior de la cámara de mezcla mientras mantiene sustancialmente el interior a la presión de mezcla, y el sistema de transporte comprende una esclusa de aire de salida (2920) en la salida de partículas que es operable para permitir el paso de las partículas de transferencia de calor granulares a la temperatura de almacenamiento fría o caliente fuera del interior de la cámara de mezcla mientras mantiene sustancialmente el interior a la presión de mezcla.
- 50
- 55
- 60

2. El sistema de almacenamiento de energía de aire comprimido de la reivindicación 1, en donde la presión de mezcla es sustancialmente la misma que la presión de almacenamiento.

65 3. El sistema de almacenamiento de energía de aire comprimido de la reivindicación 1 o la reivindicación 2, en donde la cámara de almacenamiento en caliente está separada y aislada de manera fluida de la cámara de almacenamiento

en frío.

4. El sistema de almacenamiento de energía de aire comprimido de cualquier reivindicación anterior, en donde la cámara de mezcla está configurada en una disposición de contraflujo en la que las partículas granulares de transferencia de calor se mueven desde la entrada de partículas hasta la salida de partículas en una primera dirección de flujo y el gas comprimido se mueve desde la entrada de gas hasta la salida de gas en una segunda dirección de flujo generalmente opuesta.
5. El sistema de almacenamiento de energía de aire comprimido de la reivindicación 4, en donde la entrada de partículas está dispuesta hacia un extremo superior de la cámara de mezcla y la salida de partículas está dispuesta hacia un extremo inferior de la cámara de mezcla, por lo que las partículas de transferencia de calor granulares caen generalmente hacia abajo a través del interior de la cámara de mezcla por gravedad en el modo de carga y el gas comprimido fluye hacia arriba a través de la cámara de mezcla en el modo de carga.
6. El sistema de almacenamiento de energía de aire comprimido de la reivindicación 4, en donde la entrada de partículas está dispuesta hacia un extremo superior de la cámara de mezcla y la salida de partículas está dispuesta hacia un extremo inferior de la cámara de mezcla, por lo que las partículas de transferencia de calor granulares caen generalmente hacia abajo por gravedad a través del interior de la cámara de mezcla en el modo de descarga y el gas comprimido fluye hacia arriba a través de la cámara de mezcla en el modo de descarga.
7. El sistema de almacenamiento de energía de aire comprimido de cualquier reivindicación anterior, en donde la entrada de partículas incluye un puerto de entrada de frío en comunicación con la cámara de almacenamiento en frío y un puerto de entrada separado y caliente en comunicación con la cámara de almacenamiento en caliente, y en donde la salida de partículas incluye un puerto de salida de frío en comunicación con la cámara de almacenamiento en frío y un puerto de salida separado y caliente en comunicación con la cámara de almacenamiento en caliente.
8. El sistema de almacenamiento de energía de aire comprimido de cualquier reivindicación anterior, en donde las partículas de transferencia de calor granulares comprenden al menos uno de arena, sílice, grava, rocas, ladrillo refractario y metal.
9. El sistema de almacenamiento de energía de aire comprimido de cualquier reivindicación anterior, en donde la presión de almacenamiento en caliente es aproximadamente la presión atmosférica.
10. El sistema de almacenamiento de energía de aire comprimido de cualquier reivindicación anterior, en donde la presión de almacenamiento en frío es aproximadamente la presión atmosférica.
11. El sistema de almacenamiento de energía de aire comprimido de cualquier reivindicación anterior, donde el subsistema de almacenamiento térmico incluye una pluralidad de cámaras de mezcla, cada una con un compresor asociado o etapa de compresión, y cada cámara de mezcla dispuesta en serie, de modo que durante la fase de carga, el gas se comprime a través de un primer compresor a una primera cámara de mezcla, luego se comprime aún más a través de un segundo compresor a una segunda cámara de mezcla y así sucesivamente, en donde el gas transfiere calor a un medio de almacenamiento térmico relativamente frío en cada cámara de mezcla consecutiva hasta que el gas que sale de la cámara de mezcla final se transfiere al acumulador.
12. Un método para almacenar temporalmente energía térmica a través de un subsistema de almacenamiento térmico (2120) en un sistema de almacenamiento de energía de aire comprimido que comprende un acumulador (12) dispuesto bajo tierra y que tiene un interior configurado para contener gas comprimido a una presión de almacenamiento que es de al menos de 10 bar y un subsistema de compresor/expansor de gas (100) que comprende al menos una primera etapa de compresión que tiene una primera entrada de gas y una salida de gas en comunicación fluida con el interior del acumulador a través de una trayectoria de flujo de gas para transportar gas comprimido al acumulador cuando está en un modo de carga y desde el acumulador cuando está en un modo de descarga, comprendiendo el método:
- a) durante el modo de carga:
- i) transportar una primera parte de partículas de transferencia de calor granulares frías desde una cámara de almacenamiento en frío (2606) al interior de una cámara de mezcla (2635);
  - ii) poner en contacto la primera parte de partículas de transferencia de calor granulares frías en el interior con el gas comprimido que se desplaza desde el subsistema de compresor/expansor de gas hacia el interior del acumulador, transfiriendo de ese modo energía térmica del gas comprimido a la primera parte de partículas de transferencia de calor granulares frías proporcionando de ese modo una primera parte de partículas de transferencia de calor granulares calentadas;
  - iii) transportar la primera parte de partículas de transferencia de calor granulares calentadas desde el interior de la cámara de mezcla a una cámara de almacenamiento en caliente (2610);
  - iv) transportar una segunda parte de partículas de transferencia de calor granulares frías desde la cámara de almacenamiento en frío al interior de la cámara de mezcla (2635);
  - v) poner en contacto la segunda parte de partículas de transferencia de calor granulares frías en el interior con

el gas comprimido que se desplaza desde el subsistema de compresor/expansor de gas hacia el interior del acumulador, transfiriendo así energía térmica del gas comprimido a la segunda parte de partículas de transferencia de calor granulares frías y proporcionando una segunda parte de partículas de transferencia de calor granulares calentadas;

5 vi) transportar la segunda parte de partículas de transferencia de calor granulares calentadas desde el interior de la cámara de mezcla a una cámara de almacenamiento en caliente;

en donde:

10 la cámara de almacenamiento en frío está a una presión de almacenamiento en frío y el interior de la cámara de mezcla se mantiene a una presión de mezcla que es mayor que la presión de almacenamiento en frío y la etapa i) comprende transportar la primera parte de partículas de transferencia de calor granulares frías a través de un aparato de regulación de presión de entrada (2910) por lo que la primera parte de partículas de transferencia de calor granulares frías se transporta de la cámara de almacenamiento en frío a la cámara de mezcla mientras se mantiene la presión de mezcla; y

15 la cámara de almacenamiento en caliente está a una presión de almacenamiento en caliente que es menor que la presión de mezcla y la etapa iii) comprende transportar la primera parte de partículas de transferencia de calor granulares calentadas a través de un aparato de regulación de presión de salida (2920) por lo que la primera parte de partículas de transferencia de calor granulares calentadas sale de la cámara de mezcla y se transporta de la cámara de mezcla a la cámara de almacenamiento en caliente mientras se mantiene la presión de mezcla.

25 13. El método de la reivindicación 12, en donde la primera parte de partículas de transferencia de calor granulares frías cae hacia abajo por gravedad a través del interior de la cámara de mezcla y en donde el gas comprimido se desplaza generalmente en la dirección opuesta a la primera parte de partículas de transferencia de calor granulares frías.

14. El método de la reivindicación 12 o la reivindicación 13, en donde al menos una de la presión de almacenamiento en frío y la presión de almacenamiento en caliente es aproximadamente la presión atmosférica.

30 15. El método de una cualquiera de las reivindicaciones 12 a 14, donde el subsistema de almacenamiento térmico incluye una pluralidad de cámaras de mezcla, cada una con un compresor asociado o etapa de compresión, y cada cámara de mezcla dispuesta en serie, de modo que durante la fase de carga, el gas se comprime a través de un primer compresor a una primera cámara de mezcla, luego se comprime aún más a través de un segundo compresor a una segunda cámara de mezcla y así sucesivamente, en donde el gas transfiere calor a un medio de almacenamiento térmico relativamente frío en cada cámara de mezcla consecutiva hasta que el gas que sale de la cámara de mezcla final se transfiere al acumulador.

35 16. El método de una cualquiera de las reivindicaciones 12 a 15, que comprende, además, durante el modo de descarga:

40 i) transportar una primera cantidad de partículas de transferencia de calor granulares calientes de la cámara de almacenamiento en caliente al interior de la cámara de mezcla;

45 ii) poner en contacto la primera cantidad de partículas de transferencia de calor granulares calientes en el interior con el gas comprimido que se desplaza desde el acumulador hasta el subsistema de compresor/expansor de gas, transfiriendo de este modo energía térmica desde la primera cantidad de partículas de transferencia de calor granulares calientes al gas comprimido y calentar el gas comprimido y proporcionando una primera cantidad de partículas de transferencia de calor granulares frías;

50 iii) transportar la primera cantidad de partículas de transferencia de calor granulares frías desde el interior de la cámara de mezcla a la cámara de almacenamiento;

iv) transportar una segunda cantidad de partículas de transferencia de calor granulares calientes desde la cámara de almacenamiento en caliente al interior de la cámara de mezcla;

55 v) poner en contacto la segunda cantidad de partículas de transferencia de calor granulares calientes en el interior con el gas comprimido que se desplaza desde el acumulador hasta el subsistema de compresor/expansor de gas, transfiriendo de ese modo energía térmica desde la segunda cantidad de partículas de transferencia de calor granulares calientes al gas comprimido y calentando el gas comprimido y proporcionando una segunda cantidad de partículas de transferencia de calor granulares frías;

vi) transportar la segunda cantidad de partículas de transferencia de calor granulares frías desde el interior de la cámara de mezcla a la cámara de almacenamiento.

60 17. El método de una cualquiera de las reivindicaciones 12 a 16, donde el subsistema de almacenamiento térmico incluye una pluralidad de cámaras de mezcla, cada una con un expansor asociado o etapa de expansión, cada cámara de mezcla dispuesta en serie, de modo que durante la fase de descarga, el gas se expande a través de un primer expansor a una primera cámara de mezcla, luego se expande aún más a través de un segundo expansor a una segunda cámara de mezcla y así sucesivamente, en donde el medio de almacenamiento térmico transfiere calor a un gas relativamente frío en cada cámara de mezcla consecutiva hasta que el gas que sale de la cámara de mezcla final se transfiere al expansor final, y en donde las cámaras de mezcla usadas durante el modo de descarga son las mismas

cámaras de mezcla usadas durante el modo de carga.

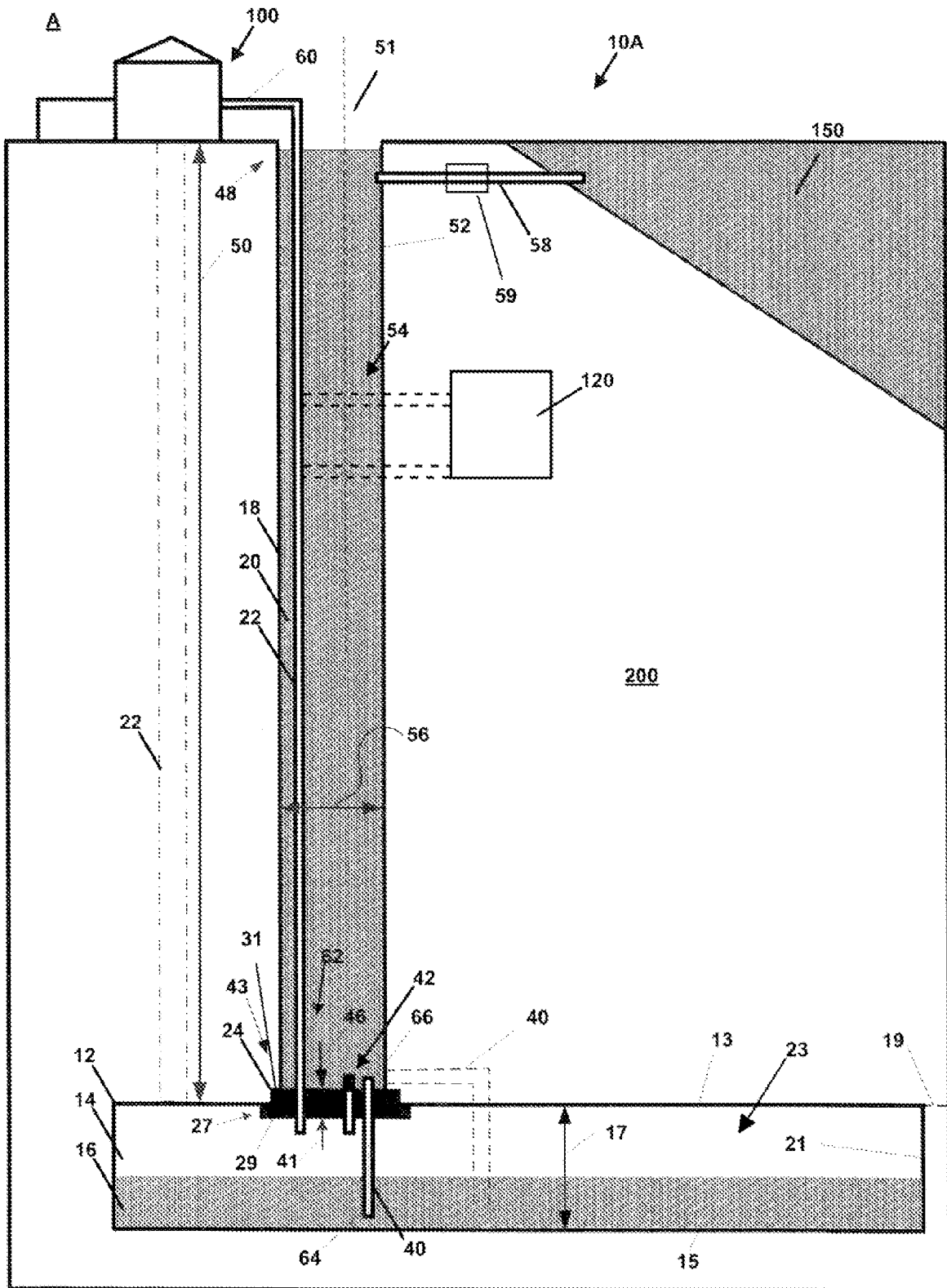


Figura 1

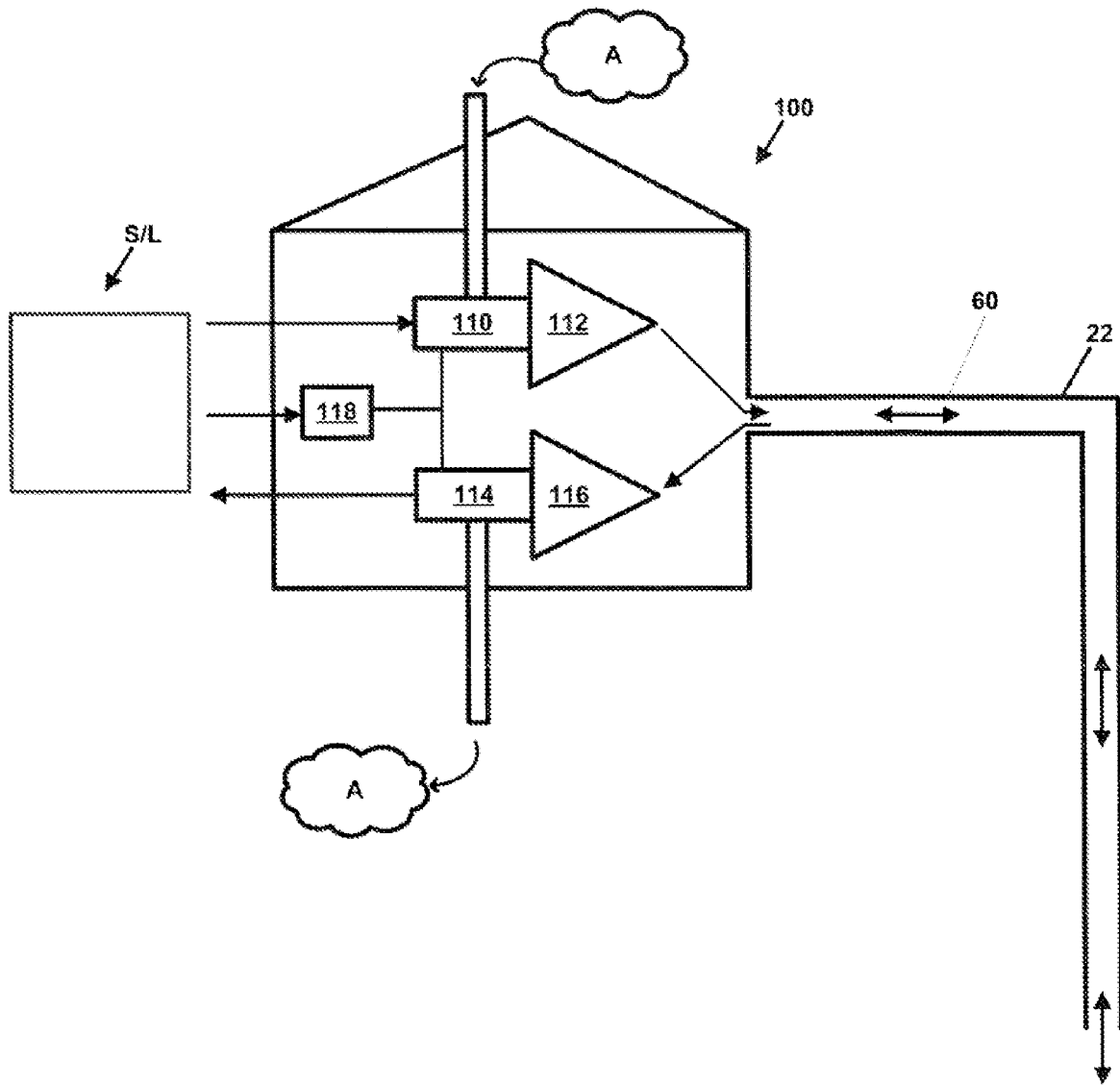


Figura 2

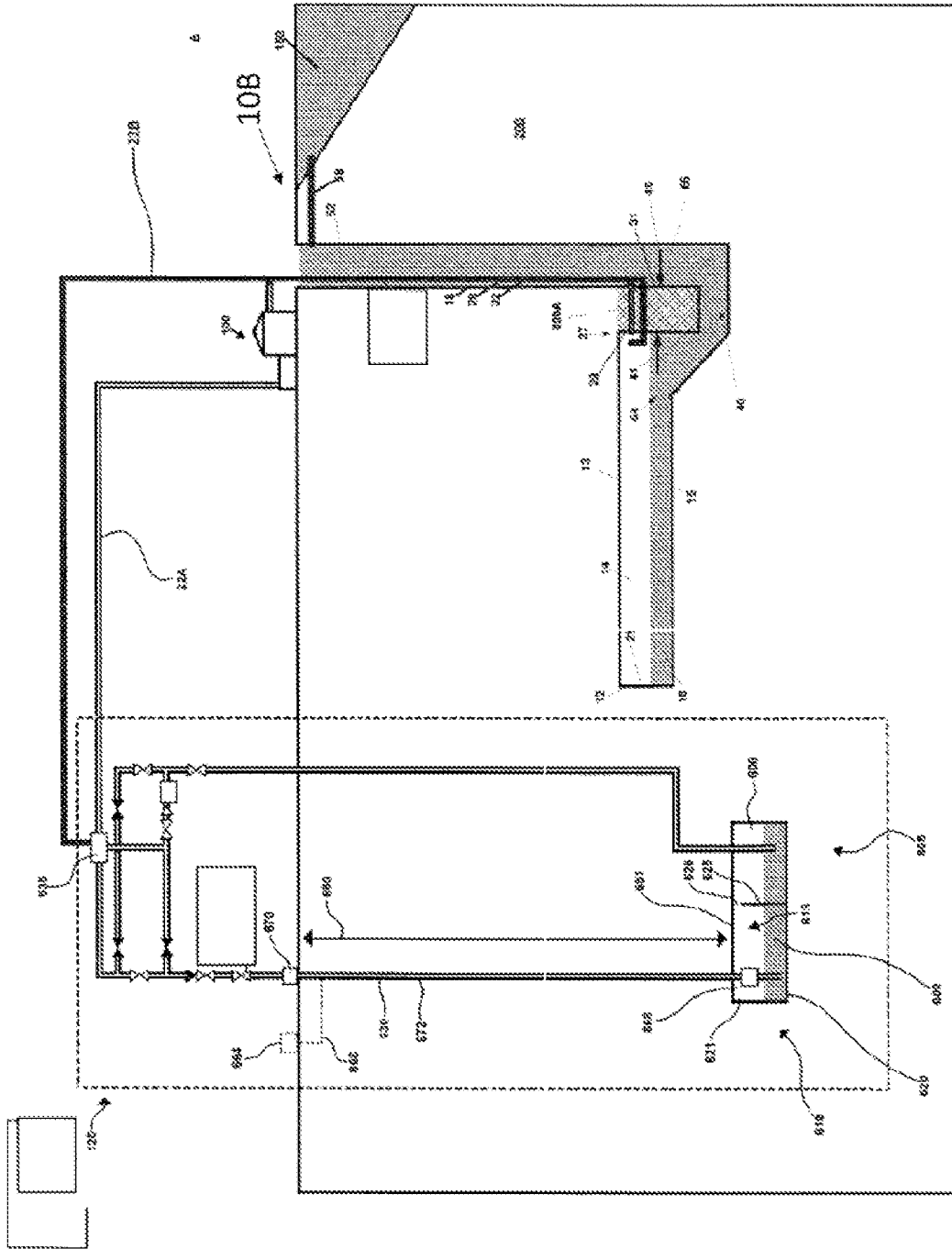
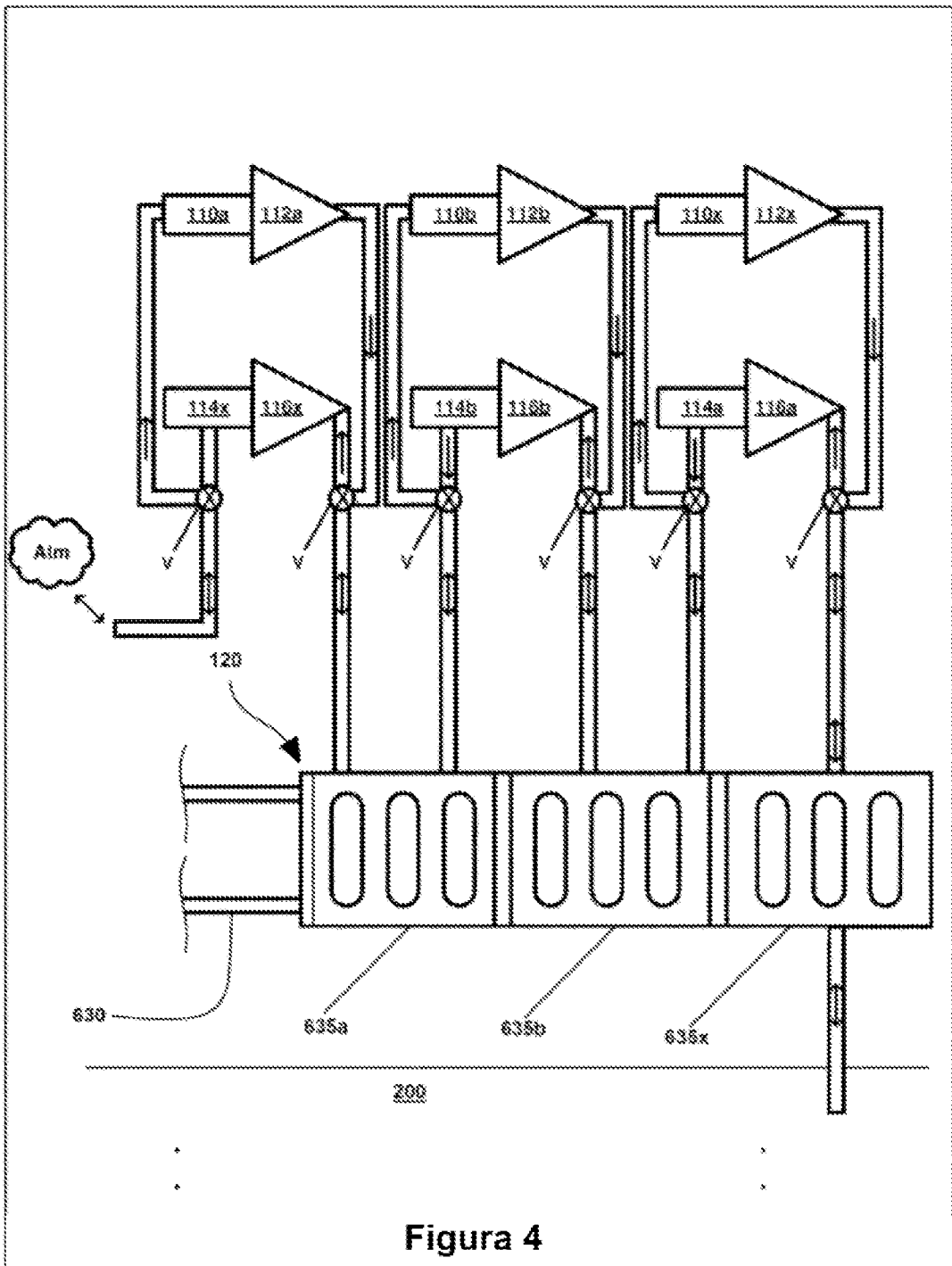


Figura 3



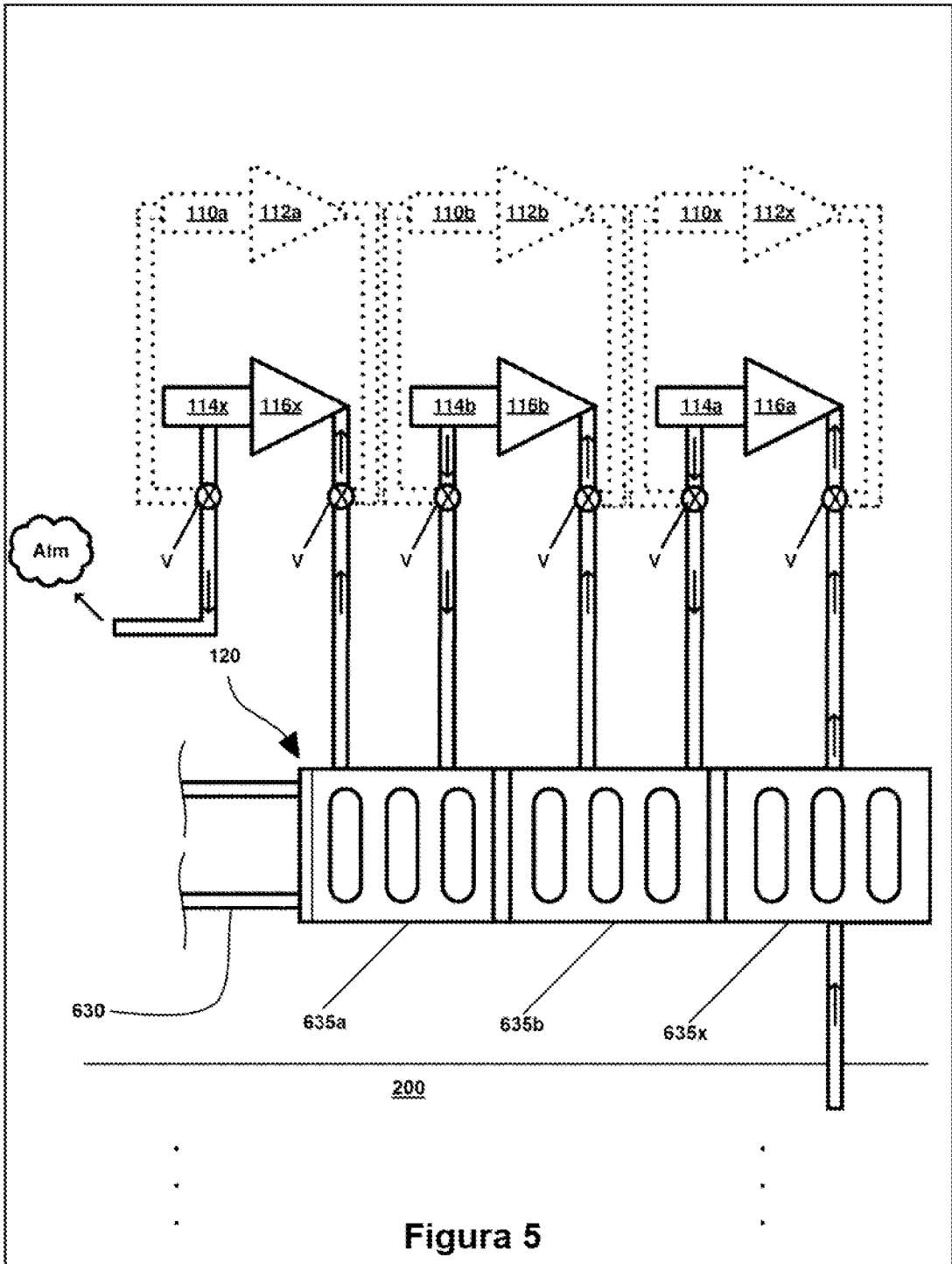
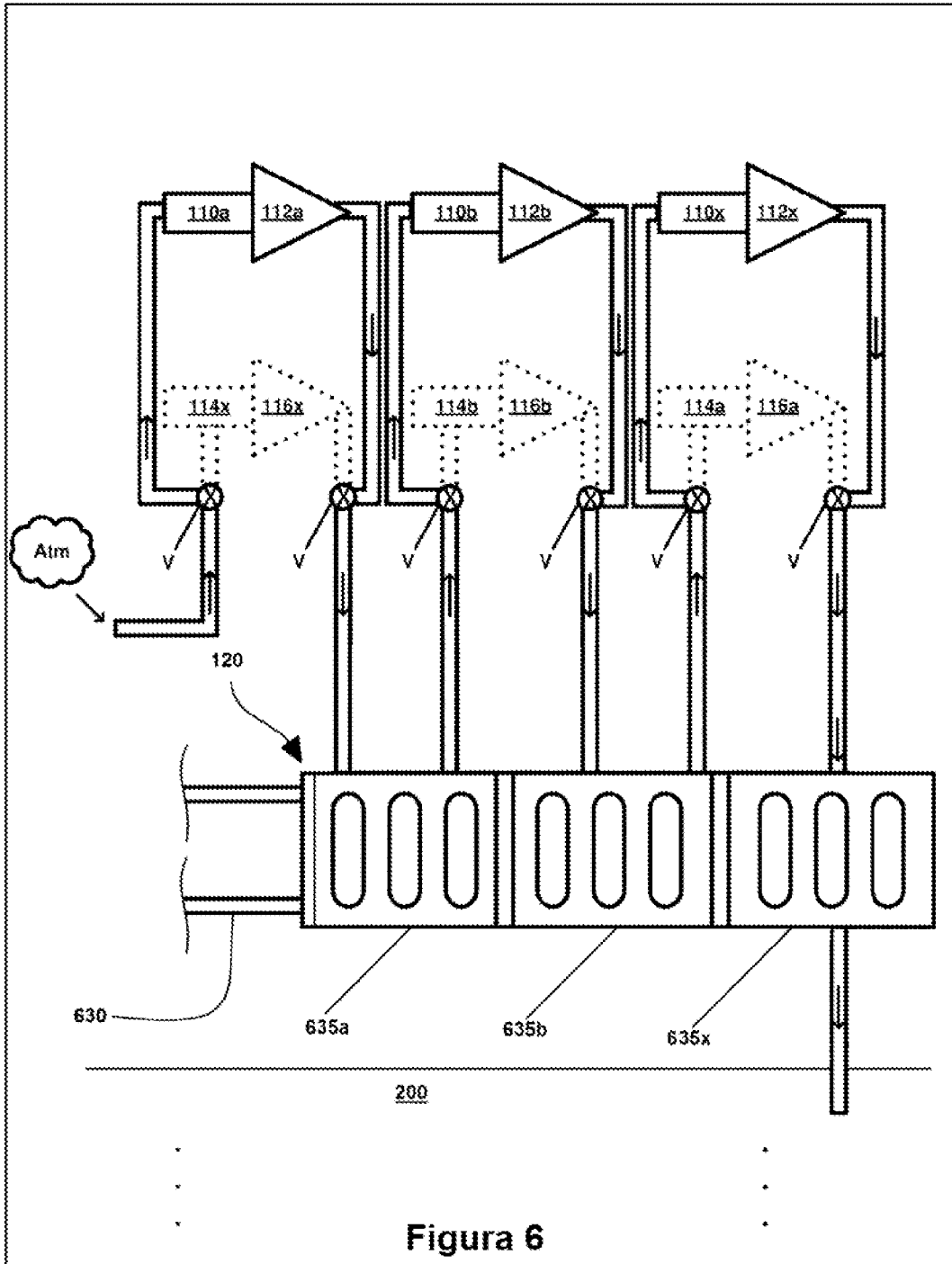


Figura 5



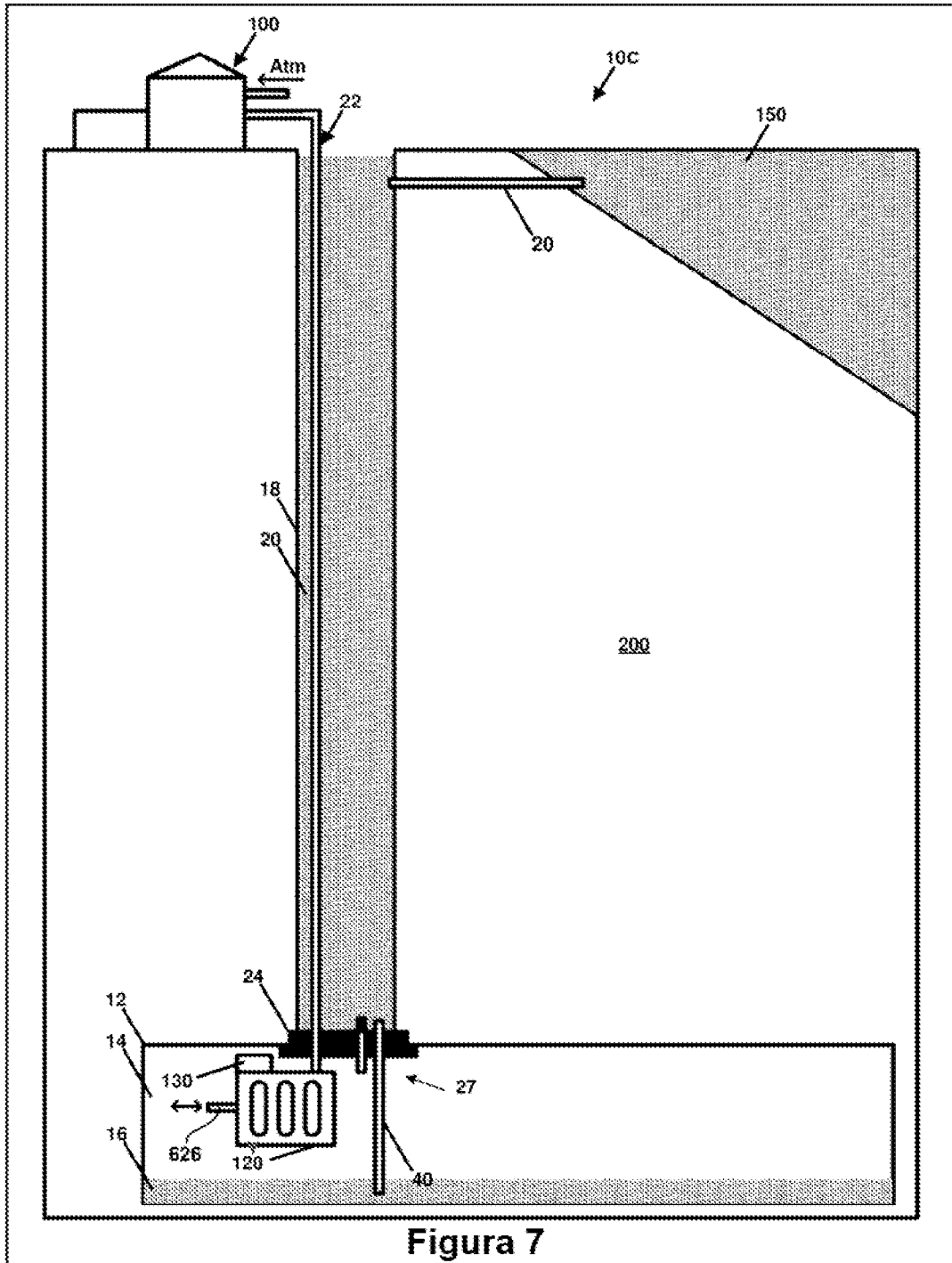
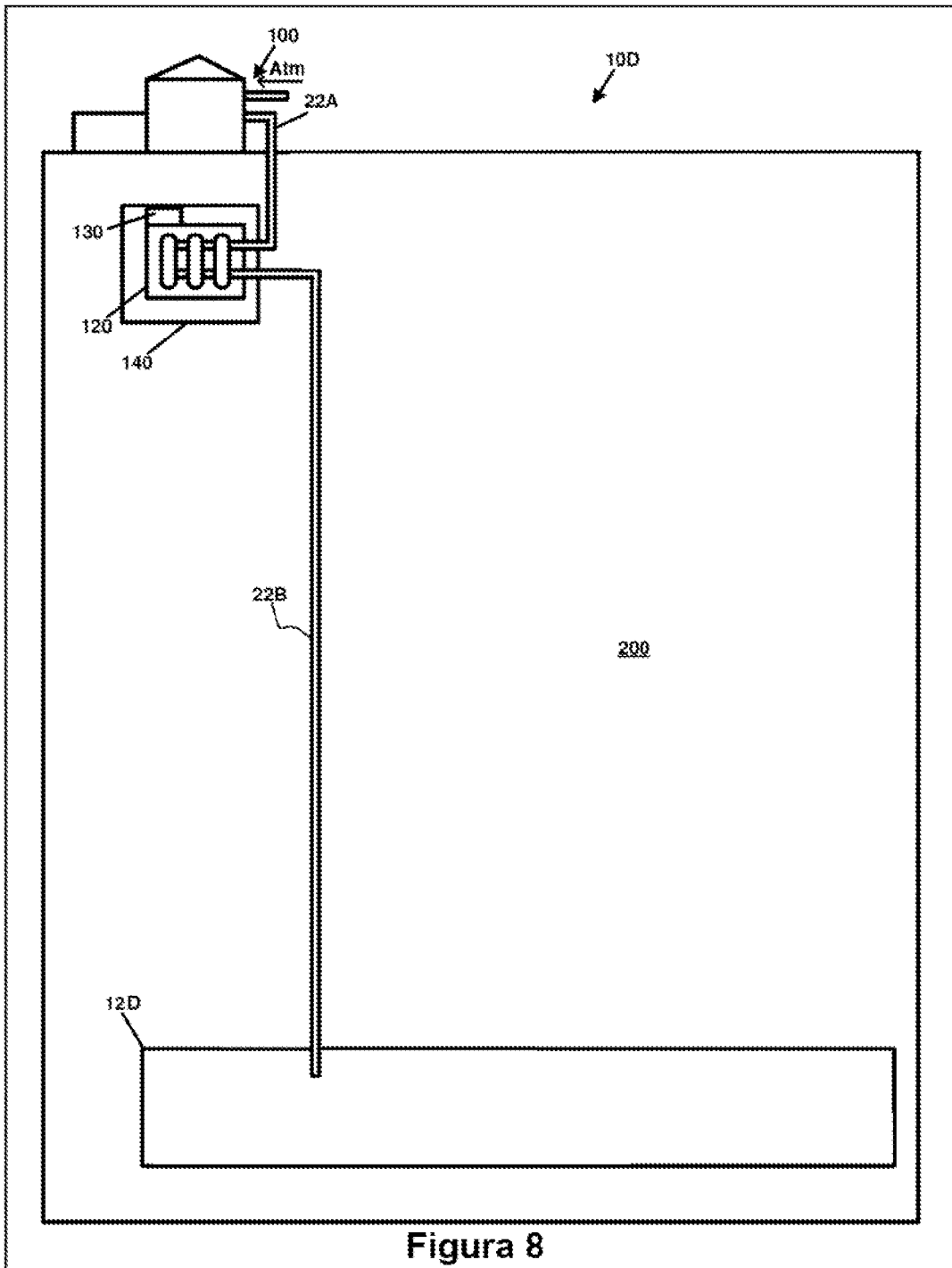


Figura 7



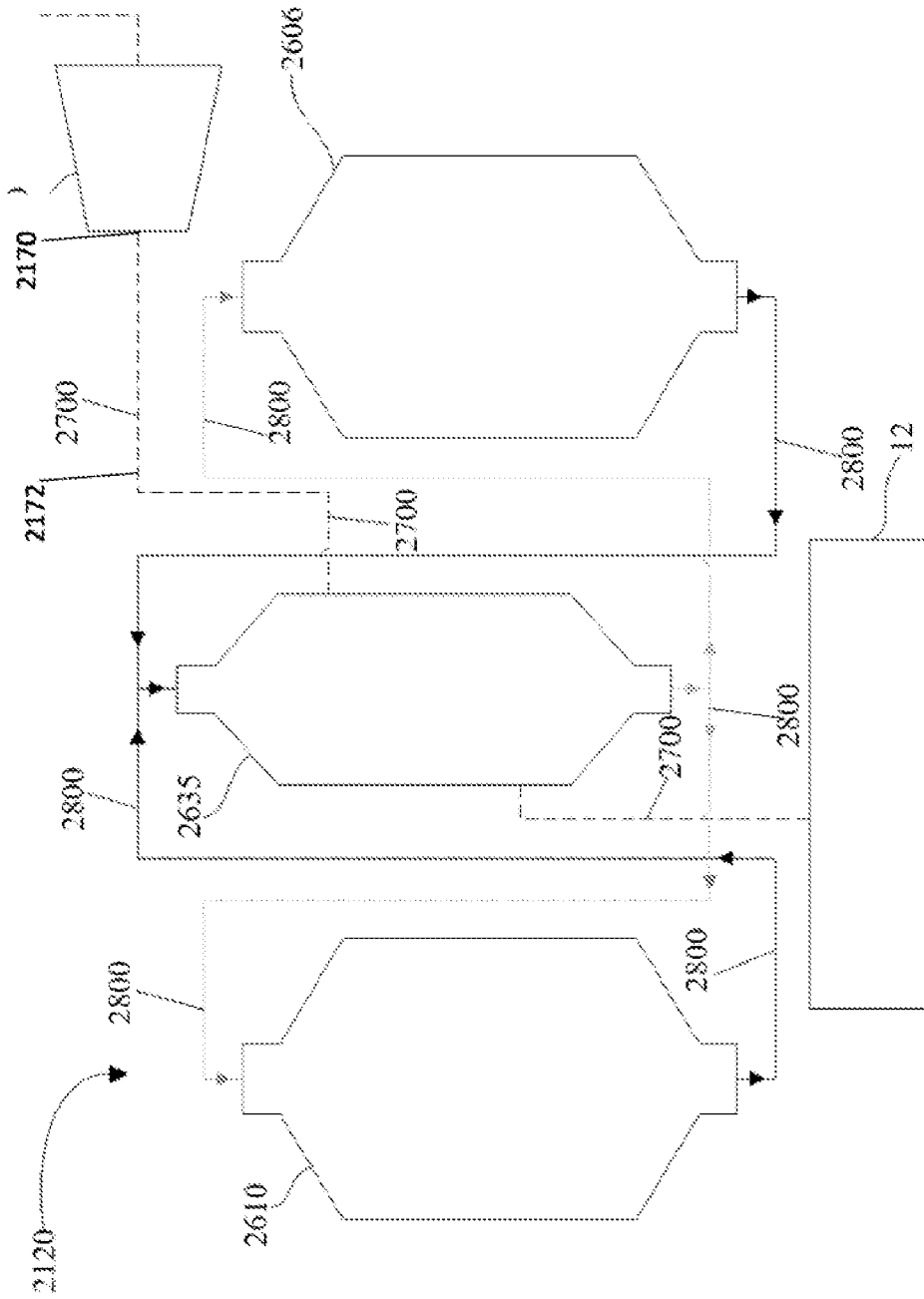


Figure 9

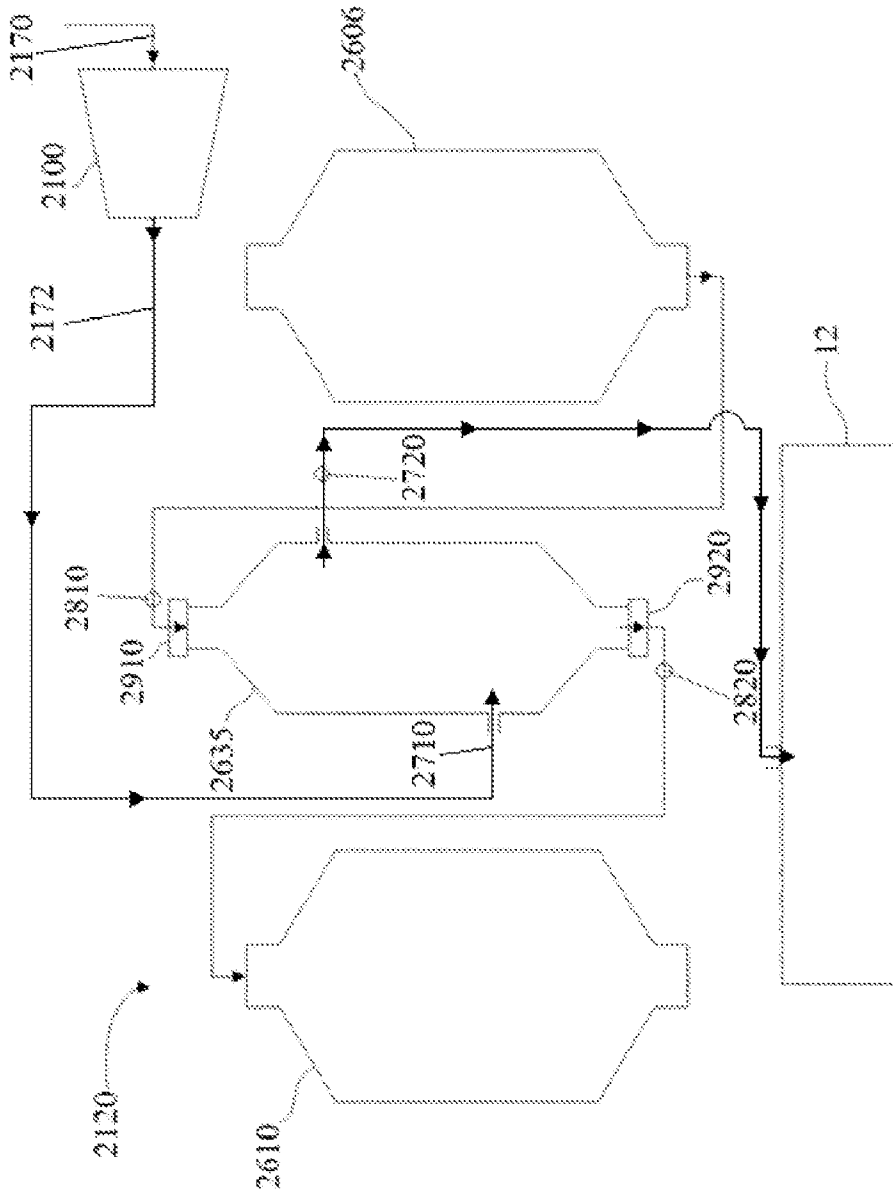


Figura 10A



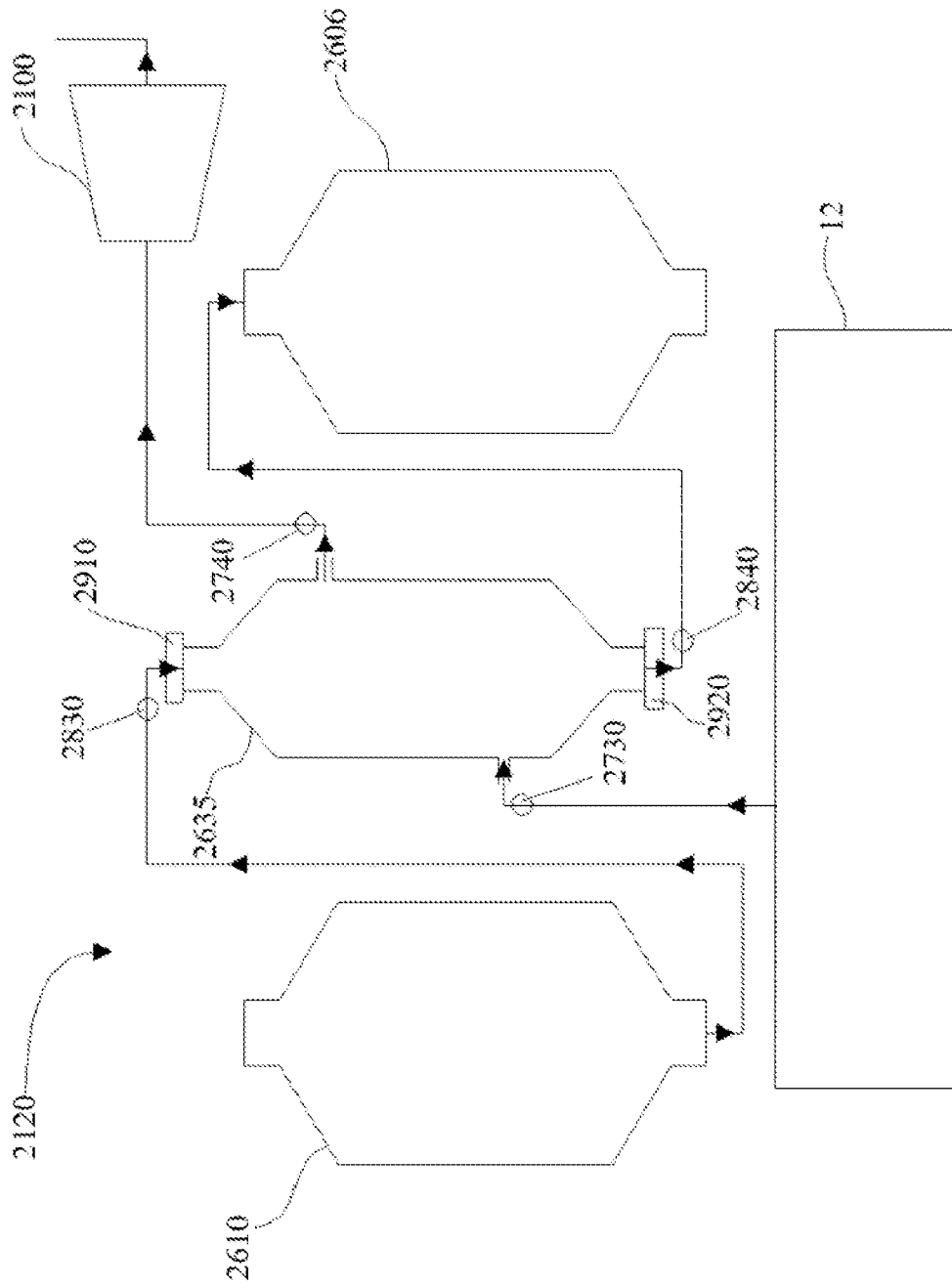


Figure 11