

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **3 014 240**

51 Int. Cl.:

F17C 1/00 (2006.01)

F17C 13/02 (2006.01)

F17C 13/06 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **31.01.2018 PCT/CA2018/050112**

87 Fecha y número de publicación internacional: **09.08.2018 WO18141057**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **31.01.2018 E 18747216 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **26.02.2025 EP 3577385**

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

30 Prioridad:

01.02.2017 US 201762453278 P

01.02.2017 US 201762453300 P

01.02.2017 US 201762453306 P

01.02.2017 US 201762453315 P

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
21.04.2025

73 Titular/es:

**HYDROSTOR INC. (100.00%)
82 Richmond Street East
Toronto, Ontario M5C 1P1, CA**

72 Inventor/es:

**LEWIS, CAMERON;
MCGILLIS, ANDREW;
YOUNG, DAVIN y
VANWALLEGHEM, CURTIS**

74 Agente/Representante:

VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro

ES 3 014 240 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 compensado hidrostáticamente

5 **Campo de la divulgación**

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 tal como, por ejemplo, uno que incluye un acumulador de energía de aire comprimido sustancialmente isobárico, compensado hidrostáticamente, situado bajo tierra, al uso del mismo, así como a un método de almacenamiento de gas comprimido.

Antecedentes

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 retornarla a la red según la demanda. Asimismo, 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 JP S57 97997 A divulga un compresor accionado para almacenar aire a alta presión en una cueva subterránea durante la noche y una turbina accionada por el aire a alta presión para generar energía durante el día. Se proporciona una pequeña cavidad a la cueva subterránea y se divide en dos cámaras mediante una placa de división. El aire en la cavidad pequeña se libera hacia arriba al aire libre a través de una tubería de alivio de aire. El aire a alta presión, es decir, las burbujas que penetran en una tubería de agua debido a un accidente imprevisto se separan del agua en la pequeña cavidad. A continuación, el aire se libera al aire libre a través de la válvula de alivio de aire.

El documento US 3 895 493 A divulga un método para almacenar y volver a suministrar energía en forma de aire comprimido a presión constante compensando hidráulicamente las variaciones de presión en un depósito conectando permanentemente el depósito a un lago y disipando la energía del aire disuelto en agua reduciendo la concentración del aire en el agua comunicando la parte inferior de un conducto, que contiene agua gasificada, con agua no gasificada del lago para bloquear completamente el flujo de agua gasificada a través del conducto. La divulgación incluye una planta que usa un pozo que contiene un conducto en el que se monta una válvula unidireccional para lograr la dilución.

El documento EP 2 832 666 A1 divulga una instalación para el almacenamiento de un gas comprimido, tal como aire, que comprende una cavidad para contener el gas comprimido, en donde la cavidad comprende un agujero ciego excavado en roca. Las realizaciones de la instalación comprenden una sección con un diámetro mayor, un tapón de presión o un revestimiento impermeable flexible.

El documento US 2014/013735 A1 divulga depósitos subterráneos revestidos y/o recipientes de tuberías aisladas utilizados para el almacenamiento de fluido comprimido junto con sistemas de almacenamiento y recuperación de energía.

El documento US 4 150 547 A divulga una central eléctrica de aire comprimido en la que el aire comprimido puede almacenarse bajo tierra y utilizarse posteriormente según sea necesario. Las instalaciones de almacenamiento incluyen una caverna de almacenamiento de calor que contiene una barrera de agua externa y un revestimiento de aislamiento térmico. El aire comprimido fluye desde la central eléctrica en serie a través de la caverna de almacenamiento de calor y después a una caverna de almacenamiento de aire.

El documento US 2011/094231 A1 divulga un sistema de almacenamiento de energía de aire comprimido adiabático (ACAES) operable en un modo de compresión y un modo de operación de expansión. El sistema ACAES incluye un sistema compresor configurado para comprimir el aire suministrado al mismo y un sistema de turbina configurado para expandir el aire comprimido suministrado al mismo, incluyendo el sistema de compresor un conducto de compresor e incluyendo el sistema de turbina un conducto de turbina. El sistema ACAES también incluye una pluralidad de unidades de almacenamiento de energía térmica (TES) colocadas en los conductos de compresor y de turbina y configuradas para eliminar la energía térmica del aire comprimido que pasa a través del conducto del compresor y devolver la

energía térmica al aire que pasa a través del conducto de la turbina. El conducto de compresor y el conducto de turbina están dispuestos de tal manera que al menos una parte de la pluralidad de unidades TES operan en un primer estado de presión durante el modo de operación de compresión y en un segundo estado de presión diferente del primer estado de presión durante el modo de expansión de la operación.

El documento US 2011/094229 A1 divulga un sistema que incluye un árbol de transmisión, un motor-generator acoplado al árbol de transmisión, un compresor acoplado al árbol de transmisión y configurado para emitir aire comprimido a una caverna, y una turbina acoplada al árbol de transmisión y configurada para recibir aire de la caverna. El sistema incluye un primer dispositivo TES, una cámara de combustión configurada para quemar una sustancia inflamable y generar una corriente de escape a la turbina, y un controlador. El controlador está configurado para controlar el flujo del aire para calentar el aire a medida que pasa a través de la primera TES, hacer que la sustancia inflamable fluya hacia la cámara de combustión, operar la cámara de combustión para quemar el aire con la sustancia inflamable para generar una corriente de escape en la turbina, y controlar el motor-generator para generar energía eléctrica a partir de la energía impartida al mismo desde la turbina a través del árbol de transmisión.

Sumario

La invención reivindicada proporciona un sistema de almacenamiento de energía de gas comprimido como se define en la reivindicación 1.

De acuerdo con un aspecto que no está abarcado por la redacción de las reivindicaciones pero que es útil para comprender la invención reivindicada, se proporciona un sistema de almacenamiento de energía de gas comprimido que comprende: un acumulador subterráneo sustancialmente horizontal; un pozo que se extiende hacia arriba desde el acumulador a través del suelo; un mamparo que separa el interior del acumulador del interior del pozo; cuando está en funcionamiento, una cantidad de líquido dentro del pozo que se apoya contra el exterior del mamparo en un primer nivel de presión; cuando está en funcionamiento, conteniendo el acumulador una capa de gas comprimido encima de una capa de líquido, apoyándose el gas comprimido contra el interior del mamparo a un segundo nivel de presión; un conducto de gas para transportar gas comprimido entre la capa de gas comprimido y un subsistema de compresor/expansor de gas; y un conducto de líquido para transportar líquido entre la capa de líquido dentro del acumulador y el pozo, en donde un diferencial entre los niveles de presión primero y segundo se mantiene por debajo de un nivel umbral transportando gas comprimido entre el subsistema de compresor/expansor y la capa de gas comprimido y transportando líquido entre el pozo y la capa de agua.

En una realización, 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.

En una realización, el sistema de almacenamiento de energía de gas comprimido comprende además un subsistema de liberación de gas. En una realización, dicho subsistema de liberación de gas comprende al menos una válvula, que comprende preferiblemente al menos una válvula unidireccional asociada con el mamparo que permite la liberación selectiva de gas comprimido desde la capa de gas a través del mamparo hacia el interior del pozo.

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, y que no está abarcado por la redacción de las reivindicaciones, pero que es útil para comprender la invención reivindicada, un sistema de almacenamiento de energía de gas comprimido puede incluir un acumulador que tiene 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 para contener una capa de gas comprimido encima de una capa de líquido cuando está en uso. Un subsistema de compresor/expansor de gas puede estar separado del acumulador y puede incluir un conducto de gas que tiene un extremo superior en comunicación con el subsistema de compresor/expansor de gas y un extremo inferior en comunicación con el interior del acumulador para transportar gas comprimido en la capa de gas comprimido del acumulador cuando está en uso. 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 puede limitar al menos parcialmente un interior de pozo para contener una cantidad de líquido, pudiendo conectarse el pozo de manera fluida a una fuente/sumidero de líquido a través de un conducto de suministro de líquido. Un tabique puede cubrir la abertura primaria y puede separar el interior del acumulador del interior del pozo. El tabique puede tener una superficie exterior en comunicación con el interior del pozo y una superficie interior opuesta en comunicación con el interior del acumulador. Un subsistema de liberación de gas auxiliar puede incluir un conducto de liberación de gas auxiliar que tiene una entrada en comunicación con el interior del acumulador y una salida. El conducto de liberación de gas auxiliar puede estar separado del conducto de gas y puede configurarse para facilitar la liberación de gas de la capa de gas dentro del acumulador. Durante el uso, al menos una de la capa de gas comprimido y la capa de líquido puede apoyarse contra y ejercer una fuerza de acumulación interna sobre la superficie interior del tabique y la cantidad de líquido dentro del pozo puede apoyarse contra y ejercer una contrafuerza externa sobre la exterior superficie 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.

El conducto de liberación de gas auxiliar puede extenderse a través del tabique.

El conducto de liberación de gas auxiliar puede estar en comunicación fluida con el interior del pozo, de modo que el gas que sale del conducto de liberación de gas auxiliar pueda liberarse en la cantidad de líquido contenido en el pozo.

5 Una válvula de liberación de gas puede colocarse en el conducto de liberación de gas auxiliar y puede abrirse de manera seleccionable para permitir la liberación de gas.

10 La válvula de liberación de gas puede ser una válvula unidireccional que permite la liberación de gas de la capa de gas al interior del pozo y no permite que el líquido del pozo fluya a través de la válvula de liberación de gas auxiliar y al interior del acumulador.

15 La válvula de liberación de gas puede ser una válvula accionada por presión que está desviada hacia una configuración cerrada y se abre automáticamente cuando una presión en la capa de gas comprimido alcanza un límite umbral de presión preestablecido.

La válvula de liberación de gas auxiliar puede accionarse de forma remota y puede controlarse mediante un controlador de sistema de liberación auxiliar.

20 Como requiere la invención reivindicada, el conducto de líquido proporciona una comunicación fluida entre el líquido en el interior del pozo y la capa de líquido en el acumulador, por lo que el líquido puede fluir entre el interior del pozo y la capa de líquido en el acumulador en respuesta a cambios en la presión de la capa de gas comprimido.

25 El conducto de líquido puede incluir el conducto de liberación de gas auxiliar.

Un conducto de guía puede tener un extremo de entrada colocado cerca de la salida del conducto de liberación de gas auxiliar para recibir el gas que sale a través del conducto de liberación de gas auxiliar, un extremo de salida separado del extremo de entrada y una pared lateral del conducto que se extiende entre los mismos.

30 Al menos una parte del conducto de guía puede estar dispuesta dentro del pozo.

Un interior del conducto de guía puede estar en comunicación fluida con el interior del pozo, por lo que el interior del conducto de liberación de gas contiene una primera parte de la cantidad de líquido dentro del pozo.

35 Cuando se libera gas del conducto de liberación de gas, el gas que se libera puede viajar hacia arriba a través del conducto de guía y desplazar al menos parte de la primera parte de líquido desde dentro del conducto de guía hacia el interior del pozo.

40 Cuando se libera gas del conducto de liberación de gas auxiliar, el gas puede quedar restringido dentro del conducto de guía cuando se desplaza hacia arriba a través del pozo y no se expande en partes del interior del pozo que son externas al conducto de guía.

45 El extremo de salida del conducto de guía puede estar dispuesto por encima de una superficie libre de la cantidad de líquido dentro del pozo.

El extremo de salida del conducto de guía puede estar en comunicación con la atmósfera ambiente.

50 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, y que no está abarcado por la redacción de las reivindicaciones, pero que es útil para comprender la invención reivindicada, un sistema de almacenamiento de energía de gas comprimido puede incluir un acumulador que tiene 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 contener una capa de gas comprimido encima de una capa de líquido cuando está en uso. Un subsistema de compresor/expansor de gas puede estar separado del acumulador y un conducto de suministro 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 en la capa de gas comprimido del acumulador cuando está en uso.

55 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. Un tabique puede cubrir la abertura primaria y puede separar el interior del acumulador del interior del pozo. El tabique puede tener una superficie exterior en comunicación con el interior del pozo y una superficie interior opuesta en comunicación con el interior del acumulador.

60

65 Como requiere la invención reivindicada, al menos una de la capa de gas comprimido y la capa de líquido se apoya contra y ejerce 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 es menor que la fuerza del acumulador.

- 5 Como requiere la invención reivindicada, el conducto de líquido proporciona una comunicación fluida entre el líquido en el interior del pozo y la capa de líquido en el acumulador, por lo que el líquido puede fluir entre el interior del pozo y la capa de líquido en el acumulador en respuesta a cambios en la presión de la capa de gas comprimido.

- 10 Un primer extremo del conducto de líquido puede estar próximo a la superficie exterior del tabique y puede estar en comunicación fluida con el pozo.

El conducto de líquido puede pasar a través del tabique.

- 15 Un segundo extremo del conducto de líquido puede sumergirse en la capa de líquido y puede permanecer aislado de manera fluida de la capa de gas cuando el sistema de almacenamiento de energía de gas comprimido está en uso.

- 20 Cuando se aumenta la presión de la capa de gas comprimido transportando gas adicional a la capa de gas comprimido, puede aumentarse la magnitud de la fuerza interna del acumulador y el líquido puede transportarse a través del conducto de líquido desde la capa de líquido en el acumulador hasta el interior del pozo. Cuando la presión de la capa de gas comprimido disminuye liberando gas de la capa de gas comprimido, la magnitud de la fuerza interna del acumulador puede disminuir y puede transportarse a través del conducto de líquido desde el interior del pozo hasta la capa de líquido en el acumulador.

- 25 Una diferencia de presión a través del tabique puede estar entre aproximadamente 0,30 bar (0,3 atm) y aproximadamente 6,08 bar (6 atm) cuando el sistema de almacenamiento de energía de gas comprimido está en uso.

- 30 El subsistema de compresor/expansor puede incluir: a) un compresor de gas con al menos una primera etapa de compresión configurada para aspirar aire desde una fuente de aire, comprimir el aire y transportar el aire comprimido a la capa de gas comprimido a través del conducto de gas; b) un expansor de gas con al menos una primera etapa de expansión; y c) un primer generador eléctrico accionado por el expansor de gas para recibir aire comprimido de la capa de gas comprimido del acumulador y generar electricidad a partir de la expansión del aire comprimido.

La primera etapa de expansión puede estar en comunicación fluida con el conducto de suministro de gas.

- 35 Un conducto de gas secundario puede estar separado del conducto de suministro de gas y puede conectar de manera fluida la primera etapa de expansión y la capa de gas comprimido dentro del acumulador.

La fuente de aire puede incluir la atmósfera ambiente.

- 40 El aire que sale de la primera etapa de expansión puede liberarse a la atmósfera ambiente.

El conducto de suministro de gas puede pasar a través del interior del pozo y puede estar al menos parcialmente sumergido en la cantidad de líquido.

- 45 El conducto de suministro de gas puede ser externo al pozo.

La pared superior del acumulador puede ser sustancialmente plana y puede orientarse sustancialmente horizontalmente.

- 50 El extremo inferior del conducto de suministro de gas puede colocarse en un punto alto de la pared superior del acumulador.

El conducto de suministro de gas puede pasar a través del tabique.

- 55 El conducto de líquido puede pasar por debajo del tabique.

El conducto de suministro de gas puede estar dispuesto al menos parcialmente dentro del conducto de líquido.

- 60 El conducto de líquido puede incluir un canal de flujo que pasa por debajo del tabique, y en donde el conducto de suministro de gas está dispuesto dentro del canal de flujo y pasa por debajo del tabique.

El acumulador puede estar al menos parcialmente enterrado bajo tierra, y el extremo superior del pozo puede estar por encima del suelo.

- 65 La fuente de líquido puede incluir una masa de agua.

El conducto de suministro de líquido puede estar en comunicación fluida con el interior del pozo hacia el extremo superior del pozo.

5 Puede disponerse una válvula de control de flujo en el conducto de suministro de líquido. La válvula de control de flujo puede moverse a una posición cerrada en la que se interrumpe la comunicación de fluido entre el pozo y la fuente de líquido.

El extremo superior del pozo puede estar abierto a la atmósfera ambiente.

10 La división puede incluir además una galería de acceso que se puede abrir y volver a sellar que se puede abrir para proporcionar acceso al interior del acumulador.

La división puede incluir un mamparo colocado para sellar la abertura primaria.

15 El tabique puede formarse al menos parcialmente a partir de al menos uno de hormigón, piedra, metal, material compuesto y plástico.

El acumulador puede estar al menos parcialmente enterrado bajo tierra y puede estar al menos parcialmente comprendido por el suelo.

20 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, y que no está abarcado por la redacción de las reivindicaciones, pero que es útil para comprender la invención reivindicada, un sistema de almacenamiento de energía de gas comprimido puede incluir un acumulador que tiene una abertura primaria, una pared superior, una pared inferior y un interior del
25 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. Un 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
30 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
35 suministro de líquido. Al menos un primer intercambiador de calor de compresión puede configurarse para intercambiar calor entre el gas que se transporta al subsistema de compresor/expansor de gas y la cantidad de líquido contenido dentro del pozo. Un tabique puede cubrir la abertura primaria y puede separar el interior del acumulador del interior del pozo. El tabique puede tener 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
40 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.

45 El subsistema de compresor/expansor de gas puede incluir al menos una primera etapa de compresión y una segunda etapa de compresión. El primer intercambiador de calor de compresión puede estar conectado de manera fluida entre la fuente de gas y la primera etapa de compresión, y puede configurarse para intercambiar calor entre el gas que se transporta a la primera etapa del compresor y la cantidad de líquido contenido dentro del pozo. Un segundo intercambiador de calor de compresión puede estar conectado de manera fluida entre la primera etapa de compresión,
50 y puede configurarse para intercambiar calor entre el gas que se transporta a la segunda etapa del compresor y la cantidad de líquido contenido dentro del pozo.

El primer intercambiador de calor de compresión puede estar dispuesto al menos parcialmente dentro del pozo.

55 El subsistema de compresor/expansor de gas puede incluir una primera etapa de expansión y una segunda etapa de expansión, y en donde un primer intercambiador de calor de expansión está conectado de manera fluida entre el acumulador y la primera etapa de expansión, y está configurado para intercambiar calor entre el gas que se transporta a la primera etapa de expansión y la cantidad de líquido contenido dentro del pozo. Un segundo intercambiador de calor de expansión puede estar conectado de manera fluida entre la primera etapa de expansión y la segunda etapa de expansión y puede estar dispuesto al menos parcialmente dentro del interior del pozo. El segundo intercambiador de calor de expansión puede configurarse para intercambiar calor entre el gas que se transporta a la segunda etapa de expansión y la cantidad de líquido contenido dentro del pozo.
60

65 El primer intercambiador de calor de compresión puede funcionar como el segundo intercambiador de calor de expansión.

En una realización, el primer intercambiador de calor de compresión está separado del segundo intercambiador de calor de expansión.

5 El primer intercambiador de calor puede incluir un radiador que tiene al menos una trayectoria de aire sumergida en la cantidad de líquido contenido en el pozo, un conducto de entrada de aire que se extiende desde el exterior de la cantidad de líquido hasta un extremo de entrada del radiador y un conducto de salida de aire que conecta de manera fluida un extremo de salida del radiador y el subsistema de compresor/expansor de gas.

10 El subsistema de compresor/expansor de gas puede incluir pares de etapas de expansión y compresión asociadas, en donde cada par de etapas de expansión y compresión está provisto de un intercambiador de calor respectivo que está configurado para, durante un ciclo de compresión, intercambiar calor entre la cantidad de líquido contenido en el pozo y el gas a comprimir por la etapa de compresión, y durante un ciclo de expansión para intercambiar calor entre la cantidad de líquido contenido en el pozo y el gas que se ha expandido por la etapa de expansión.

15 La fuente de gas puede ser la atmósfera ambiente.

El primer intercambiador de calor de compresión puede montarse de manera extraíble dentro del pozo.

20 Como requiere la invención reivindicada, el conducto de líquido proporciona una comunicación fluida entre el líquido en el interior del pozo y la capa de líquido en el acumulador, por lo que el líquido puede fluir entre el interior del pozo y la capa de líquido en el acumulador en respuesta a cambios en la presión de la capa de gas comprimido.

Un extremo superior del conducto de líquido puede estar próximo a la superficie exterior del tabique.

25 El conducto de líquido puede pasar a través del tabique.

Un extremo inferior del conducto de líquido puede sumergirse en la capa de líquido dentro del acumulador y puede permanecer aislado de manera fluida de la capa de gas dentro del acumulador cuando el sistema de almacenamiento de energía de gas comprimido está en uso.

30 Cuando se aumenta la presión de la capa de gas comprimido transportando gas adicional a la capa de gas comprimido, puede aumentarse la magnitud de la fuerza del gas y el líquido puede transportarse a través del conducto de líquido desde la capa de líquido en el acumulador hasta el interior del pozo. Cuando la presión de la capa de gas comprimido disminuye liberando gas de la capa de gas comprimido, la magnitud de la fuerza del gas disminuye y el líquido se transporta a través del conducto de líquido desde el interior del pozo hasta la capa de líquido en el acumulador.

El conducto de suministro de gas pasa a través del interior del pozo y está al menos parcialmente sumergido en la cantidad de líquido.

40 El conducto de suministro de gas puede ser externo al pozo.

El conducto de suministro de gas puede pasar a través del tabique.

45 El primer intercambiador de calor de compresión puede incluir al menos un intercambiador de calor de contacto directo.

El agua que entra en el primer intercambiador de calor de compresión puede extraerse del pozo y el agua que sale del primer intercambiador de calor de compresión puede devolverse al pozo.

50 La invención reivindicada proporciona un sistema de almacenamiento de energía de gas comprimido que comprende un acumulador que tiene 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 es para contener una capa de gas comprimido encima de una capa de líquido cuando está en uso. Un subsistema de compresor/expansor de gas está separado del acumulador. Un conducto de gas tiene un extremo superior en comunicación con el subsistema de compresor/expansor de gas y un extremo inferior en comunicación con el interior del acumulador para transportar gas comprimido a la capa de gas comprimido. Un pozo tiene 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 que contiene una cantidad de líquido. El pozo se puede conectar de manera fluida a una fuente/sumidero de líquido a través de un conducto de suministro de líquido. Un conducto de líquido proporciona una comunicación fluida entre el líquido en el interior del pozo y la capa de líquido en el acumulador, por lo que el líquido puede fluir entre el interior del pozo y la capa de líquido en el acumulador en respuesta a cambios en la presión de la capa de gas comprimido. Se proporciona un subsistema de almacenamiento térmico en comunicación fluida entre el subsistema de compresor/expansor de gas y el acumulador, incluyendo el aparato de almacenamiento térmico un aparato de almacenamiento sensible que usa un fluido de almacenamiento sensible que comprende agua, 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 y almacenarse en el subsistema de almacenamiento térmico de manera que la temperatura del gas que sale del subsistema de almacenamiento

térmico se reduce a una temperatura de almacenamiento que es menor que la temperatura de salida, y el agua en el aparato de almacenamiento sensible se calienta a una temperatura de almacenamiento de 100 grados Celsius o más y se mantiene a una presión operativa que es suficiente para mantener generalmente el agua en su fase líquida durante el uso. Un tabique se coloca en el extremo inferior del pozo y cubre la abertura primaria y separa 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 se apoya contra y ejerce 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 es menor que la fuerza del acumulador.

El subsistema de almacenamiento térmico puede incluir un aparato de almacenamiento térmico de múltiples etapas.

Al menos una parte del subsistema de almacenamiento térmico puede ubicarse bajo tierra.

Una parte superior del conducto de gas puede extenderse entre el subsistema de compresor/expansor y el subsistema de almacenamiento térmico, y una parte inferior del conducto de gas puede extenderse entre el subsistema de almacenamiento térmico y el acumulador y puede extenderse al menos parcialmente dentro del interior del pozo.

La parte superior del conducto de gas puede ser externa al pozo.

El subsistema de almacenamiento térmico puede incluir al menos una de una etapa de almacenamiento térmico sensible y una etapa de almacenamiento térmico latente.

El subsistema de almacenamiento térmico puede incluir uno o más materiales de cambio de fase.

El subsistema de almacenamiento térmico puede incluir una primera etapa de almacenamiento térmico latente que utilice un primer material de cambio de fase, y una segunda etapa de almacenamiento térmico que utilice un segundo material de cambio de fase diferente.

Durante un proceso de expansión, el gas que sale del acumulador puede pasar a través del subsistema de almacenamiento térmico 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.

Se puede seleccionar una capacidad del subsistema de almacenamiento térmico basándose en la duración de la fase de compresión o la duración de la fase de expansión del sistema de almacenamiento de energía de gas comprimido.

Al menos una parte del subsistema de almacenamiento térmico puede estar dispuesta dentro del pozo y puede estar al menos parcialmente sumergida en la cantidad de líquido contenido en el pozo.

El subsistema de almacenamiento térmico puede sumergirse en la cantidad de líquido contenido en el pozo.

Al menos una parte del subsistema de almacenamiento térmico puede disponerse dentro del acumulador.

Todo el subsistema de almacenamiento térmico puede disponerse dentro del acumulador.

El subsistema de almacenamiento térmico puede estar al menos parcialmente sumergido en la capa de líquido dentro del acumulador.

El subsistema de almacenamiento térmico puede disponerse dentro de una cámara presurizada.

La cámara presurizada puede ser subterránea.

La cámara presurizada puede estar en comunicación fluida con la capa de gas en el acumulador.

Una válvula reguladora puede estar en comunicación fluida con un interior del subsistema de almacenamiento térmico y la cámara presurizada, la válvula reguladora puede configurarse para mantener un diferencial de presión umbral entre el interior del subsistema de almacenamiento térmico y la cámara presurizada.

El subsistema de compresor/expansor de gas puede incluir una primera etapa de compresión y al menos una segunda etapa de compresión aguas abajo de la primera etapa de compresión. El subsistema de almacenamiento térmico puede incluir una primera etapa de almacenamiento térmico en comunicación fluida entre la primera etapa de compresión y la segunda etapa de compresión, y una segunda etapa de almacenamiento térmico en comunicación

fluida con la segunda etapa de compresión y la capa de gas en el acumulador.

El subsistema de compresor/expansor de gas puede incluir una primera etapa de expansión y al menos una segunda etapa de expansión aguas abajo de la primera etapa de expansión. El subsistema de almacenamiento térmico puede incluir una tercera etapa de almacenamiento térmico en comunicación fluida entre la capa de gas en el acumulador y la primera etapa de expansión, y una cuarta etapa de almacenamiento térmico en comunicación fluida entre la primera etapa de expansión y la segunda expansión.

El subsistema de compresor/expansor de gas puede incluir una primera etapa de compresión, al menos una segunda etapa de compresión aguas abajo de la primera etapa de compresión, una primera etapa de expansión y al menos una segunda etapa de expansión aguas abajo de la primera etapa de expansión. El subsistema de almacenamiento térmico puede incluir una primera etapa de almacenamiento térmico que está en comunicación fluida entre la primera etapa de compresión y la segunda etapa de compresión, y que está en comunicación fluida entre la primera etapa de expansión y la segunda etapa de expansión.

El subsistema de almacenamiento térmico puede incluir una segunda etapa de almacenamiento térmico que está en comunicación fluida entre la segunda etapa de compresión y el acumulador y que está en comunicación fluida entre el acumulador y la primera etapa de expansión.

Un primer extremo del conducto de líquido puede estar próximo a la superficie exterior del tabique y en comunicación fluida con el pozo.

El conducto de líquido puede pasar a través del tabique.

Un segundo extremo del conducto de líquido puede sumergirse en la capa de líquido y puede permanecer aislado de manera fluida de la capa de gas cuando el sistema de almacenamiento de energía de gas comprimido está en uso.

Cuando se aumenta la presión de la capa de gas comprimido transportando gas adicional a la capa de gas comprimido, puede aumentarse la magnitud de la fuerza del gas y el líquido puede transportarse a través del conducto de líquido desde la capa de líquido en el acumulador hasta el interior del pozo. Cuando la presión de la capa de gas comprimido disminuye liberando gas de la capa de gas comprimido, la magnitud de la fuerza del gas puede disminuir y el líquido puede transportarse a través del conducto de líquido desde el interior del pozo hasta la capa de líquido en el acumulador.

El conducto de suministro de gas puede pasar a través del interior del pozo y puede estar al menos parcialmente sumergido en la cantidad de líquido.

El conducto de suministro de gas puede ser externo al pozo.

El conducto de suministro de gas puede pasar a través del tabique.

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, y que no está abarcado por la redacción de las reivindicaciones, pero que es útil para comprender la invención reivindicada, un sistema de almacenamiento de energía de gas comprimido puede incluir un acumulador que tiene 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 contener una capa de gas comprimido encima de una capa de líquido. Un subsistema de compresor/expansor de gas puede tener al menos un primer compresor que está separado del acumulador y una primera etapa de expansión. Un primer conducto de gas puede tener un extremo superior en comunicación con la primera etapa de compresión y un extremo inferior en comunicación con una primera ubicación en el interior del acumulador para transportar gas comprimido a la capa de gas comprimido. 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 que contiene 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. Se puede colocar una división en el extremo inferior del pozo y cubrir la abertura primaria y separar el interior del acumulador del interior del pozo. El tabique puede tener 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 puede apoyarse contra y puede ejercer 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.

Un segundo conducto de gas puede estar separado del primer conducto de gas y puede tener un extremo inferior en comunicación con una segunda ubicación en el interior del acumulador y un extremo superior que está separado del extremo superior del primer conducto de gas y está en comunicación fluida con el primer expansor.

Un tercer conducto de gas puede estar separado del primer conducto de gas y del segundo conducto de gas. El tercer conducto de gas puede tener un extremo inferior en comunicación con una tercera ubicación en el interior del acumulador y un extremo superior que está separado del extremo superior del primer conducto de gas y del extremo superior del segundo conducto de gas, y está en comunicación fluida con un segundo expansor que está separado del primer expansor.

Al menos uno del primer conducto de gas, segundo conducto de gas y tercer conducto de gas puede extenderse a través del interior del pozo y puede sumergirse en la cantidad de agua contenida en el pozo.

Opcionalmente, solo el primer conducto de gas puede extenderse a través del interior del pozo y puede sumergirse en la cantidad de agua contenida en el pozo, y el segundo conducto de gas y el tercer conducto de gas pueden ser externos al pozo.

El primer expansor puede funcionar independientemente del segundo expansor.

Un tercer expansor puede estar próximo al primer compresor y puede estar en comunicación fluida con el extremo superior del primer conducto de gas.

El primer compresor puede estar próximo al pozo y el primer expansor puede estar separado del pozo.

Como requiere la invención reivindicada, un conducto de líquido proporciona una comunicación fluida entre el líquido en el interior del pozo y la capa de líquido en el acumulador, por lo que el líquido puede fluir entre el interior del pozo y la capa de líquido en el acumulador en respuesta a cambios en la presión de la capa de gas comprimido.

Un extremo superior del conducto de líquido puede estar próximo a la superficie superior del tabique.

El conducto de líquido puede pasar a través del tabique.

Un extremo inferior del conducto de líquido puede sumergirse en la capa de líquido dentro del acumulador y permanece aislado de manera fluida de la capa de gas dentro del acumulador cuando el sistema de almacenamiento de energía de gas comprimido está en uso.

Cuando se aumenta la presión de la capa de gas comprimido transportando gas adicional a la capa de gas comprimido, puede aumentarse la magnitud de la fuerza del gas y el líquido puede transportarse a través del conducto de líquido desde la capa de líquido en el acumulador hasta el interior del pozo, y cuando la presión de la capa de gas comprimido disminuye liberando gas de la capa de gas comprimido, la magnitud de la fuerza del gas puede disminuir y el líquido puede transportarse a través del conducto de líquido desde el interior del pozo hasta la capa de líquido en el acumulador.

Al menos el primer conducto de suministro de gas puede pasar a través del interior del pozo y puede estar al menos parcialmente sumergido en la cantidad de líquido.

Al menos el primer conducto de suministro de gas puede ser externo al pozo.

Al menos el primer conducto de suministro de gas puede pasar a través del tabique.

El subsistema de almacenamiento térmico puede proporcionarse en comunicación fluida aguas abajo del subsistema de compresor/expansor de gas y aguas arriba del acumulador, por lo que el gas comprimido que sale del subsistema de compresor/expansor de gas a una temperatura de salida pasa a través del subsistema de almacenamiento térmico por lo que la energía térmica se extrae del gas comprimido y se almacena en el subsistema de almacenamiento térmico y la temperatura del gas que sale del subsistema de almacenamiento térmico se reduce a una temperatura de almacenamiento que es menor que la temperatura de salida.

Otros aspectos y realizaciones se describen con más detalle a continuación.

Breve descripción de los dibujos

A continuación se describirán realizaciones de la divulgación con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

la Figura 1 es una vista esquemática en sección transversal de componentes de un ejemplo de un sistema de almacenamiento de energía de gas comprimido compensado hidrostáticamente que no está abarcado por la redacción de las reivindicaciones pero que es útil para comprender la invención reivindicada;
la Figura 2 es una vista en planta superior de componentes de un mamparo para el subsistema de almacenamiento de energía de gas comprimido de la Figura 1;
la Figura 3 es una vista en alzado lateral del mamparo de la Figura 2;

la Figura 4 es una vista en sección transversal lateral del mamparo de la Figura 2, tomada a lo largo de la línea 4-4;

la Figura 5 es una representación esquemática de componentes de un ejemplo de un subsistema de compresor/expansor que se puede usar con cualquiera de los sistemas de almacenamiento de energía de gas comprimido, de acuerdo con una realización;

la Figura 6A es una vista esquemática en sección transversal de componentes de otro ejemplo de un sistema de almacenamiento de energía de gas comprimido que no está abarcado por la redacción de las reivindicaciones pero que es útil para comprender la invención reivindicada;

la Figura 7A es una vista ampliada de una parte de los componentes del sistema de almacenamiento de energía de gas comprimido de la Figura 6A;

la Figura 6B es una vista esquemática en sección transversal de componentes de otro ejemplo de un sistema de almacenamiento de energía de gas comprimido que no está abarcado por la redacción de las reivindicaciones pero que es útil para comprender la invención reivindicada;

la Figura 7B es una vista ampliada de una parte de los componentes del sistema de almacenamiento de energía de gas comprimido de la Figura 6B;

la Figura 8 es una vista en sección transversal esquemática de componentes de otro ejemplo de un sistema de almacenamiento de energía de gas comprimido de acuerdo con la invención reivindicada;

la Figura 9 es una vista en sección transversal esquemática de componentes de otro ejemplo de un sistema de almacenamiento de energía de gas comprimido de acuerdo con la invención reivindicada;

la Figura 10 es una vista esquemática de componentes de un subsistema de compresor/expansor para el sistema de almacenamiento de energía de gas comprimido, de acuerdo con una realización;

la Figura 11A es una vista esquemática de componentes de un subsistema de compresor/expansor alternativo para el sistema de almacenamiento de energía de gas comprimido, con múltiples etapas de compresión, cada una asociada con un intercambiador de calor respectivo;

la Figura 11B es una vista esquemática de componentes de un subsistema de compresor/expansor para el sistema de almacenamiento de energía de gas comprimido, de acuerdo con una realización, con múltiples etapas de compresión, cada una asociada con un intercambiador de calor respectivo;

la Figura 12 es una vista esquemática de componentes de un subsistema de compresor/expansor alternativo para el sistema de almacenamiento de energía de gas comprimido, con múltiples etapas de expansión, cada una asociada con un intercambiador de calor respectivo;

la Figura 13 es una vista esquemática de componentes de un subsistema de compresor/expansor alternativo para el sistema de almacenamiento de energía de gas comprimido, con pares de etapas de compresión y expansión, cada una asociada con un intercambiador de calor respectivo;

la Figura 14 es una vista esquemática de los componentes del subsistema de compresor/expansor alternativo de la Figura 13, que muestra el flujo de aire durante una fase de expansión (liberación) desde el almacenamiento a través de múltiples expansores e intercambiadores de calor;

la Figura 15 es una vista esquemática de los componentes del subsistema de compresor/expansor alternativo de la Figura 13, que muestra el flujo de aire durante una compresión (almacenamiento) desde el ambiente a través de múltiples compresores e intercambiadores de calor;

la Figura 16 es una vista en sección de componentes de un sistema de almacenamiento de energía de gas comprimido, de acuerdo con una realización de la invención reivindicada;

la Figura 17 es una vista esquemática de componentes de un subsistema de compresor/expansor para el sistema de almacenamiento de energía de gas comprimido, de acuerdo con una realización;

la Figura 18 es una vista esquemática de componentes de un subsistema de compresor/expansor alternativo para el sistema de almacenamiento de energía de gas comprimido, con múltiples etapas de compresión, cada una asociada con una etapa respectiva de un subsistema de almacenamiento térmico;

la Figura 19 es una vista esquemática de componentes de un subsistema de compresor/expansor alternativo para el sistema de almacenamiento de energía de gas comprimido, con múltiples etapas de expansión, cada una asociada con una etapa respectiva de un subsistema de almacenamiento térmico;

la Figura 20 es una vista esquemática de componentes de un subsistema de compresor/expansor alternativo para el 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 21 es una vista esquemática de los componentes del subsistema de compresor/expansor alternativo de la Figura 20, que muestra el flujo de aire durante una fase de expansión (liberación) desde el almacenamiento a través de múltiples expansores y etapas respectivas de un subsistema de almacenamiento térmico;

la Figura 22 es una vista esquemática de los componentes del subsistema de compresor/expansor alternativo de la Figura 20, que muestra el flujo de aire durante una compresión (almacenamiento) desde el ambiente a través de múltiples compresores y etapas respectivas de un subsistema de almacenamiento térmico;

la Figura 23 es una vista en sección de componentes de un sistema de almacenamiento de energía de gas comprimido, de acuerdo con una realización alternativa de la invención reivindicada;

la Figura 24 es una vista en sección de componentes de un sistema de almacenamiento de energía de gas comprimido alternativo, de acuerdo con otra realización alternativa de la invención reivindicada;

la Figura 25 es una vista esquemática en sección transversal de componentes de otro ejemplo de un sistema de almacenamiento de energía de gas comprimido que no está abarcado por la redacción de las reivindicaciones pero que es útil para comprender la invención reivindicada;

la Figura 26 es una representación esquemática de otra realización de un sistema de almacenamiento de energía

de gas comprimido que no está abarcado por la redacción de las reivindicaciones pero que es útil para comprender la invención reivindicada;

la Figura 27 es una vista esquemática en sección transversal de componentes de otro ejemplo de un sistema de almacenamiento de energía de gas comprimido que no está abarcado por la redacción de las reivindicaciones pero que es útil para comprender la invención reivindicada; y

la Figura 28 es una vista esquemática en sección transversal de componentes de otro ejemplo más de un sistema de almacenamiento de energía de gas comprimido que no está abarcado por la redacción de las reivindicaciones pero que es útil para comprender la invención reivindicada.

10 Descripción detallada

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 la invención reivindicada y la invención reivindicada puede cubrir aparatos que difieran de los descritos a continuación. La invención reivindicada no se limita a aparatos que tienen todas las características de cualquier aparato descrito a continuación ni a características comunes a múltiples o todos los aparatos descritos a continuación. Es posible que un aparato descrito a continuación no sea una realización de la invención reivindicada. Cualquier divulgación de 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.

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 en un momento 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).

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 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 contenedores de almacenamiento/recipientes de presión relativamente fuertes, especializados y, a menudo, relativamente costosos.

Haciendo referencia a la Figura 1, un ejemplo de un sistema de almacenamiento de energía de gas comprimido compensado hidrostáticamente 10, 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 caverna 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.

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. El acumulador 12 en una realización dada del sistema 10 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 m³ y aproximadamente 2.000.000 m³ 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 10 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 5) con las que el sistema 10 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.

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.

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 dentro de lo que requiere un tratamiento adicional. En esta realización, el gas comprimido 14 es aire atmosférico comprimido y el líquido es agua.

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 10 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. En una realización, el área de la sección transversal está entre aproximadamente 0,75 m² y aproximadamente 80 m², pero puede ser mayor o menor en una realización dada.

Cuando el sistema 10 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 10 incluye un tabique en forma de un mamparo 24 que cubre la abertura primaria 27. La Figura 2 es una vista en planta superior de los componentes de esta realización de un mamparo 24 y las figuras 3 y 4 son vistas en alzado lateral y en sección transversal lateral, respectivamente, del mamparo 24. En este ejemplo, el mamparo 24 tiene un cuerpo principal 25 que incluye una superficie inferior 29 orientada hacia el interior 23 del acumulador 12, y en una alternativa, está generalmente expuesta a y en comunicación fluida con la capa de gas comprimido 14, y una superficie superior opuesta 31 en un extremo superior del cuerpo 25 orientada hacia el interior 54. Un reborde 26 se extiende generalmente lateralmente hacia fuera hacia el extremo inferior del mamparo, de modo que el extremo superior del mamparo 24 tiene una anchura superior 33 que puede estar entre aproximadamente 1 y 8 m y puede dimensionarse para encajar dentro de la abertura 27 y el extremo inferior del mamparo 24 tiene una anchura inferior 35 que es mayor que la anchura superior 33 y puede estar entre aproximadamente 1,2 m y aproximadamente 10 m, por ejemplo. En esta disposición, se define una superficie 37 de saliente orientada generalmente hacia arriba y se extiende alrededor de la periferia del mamparo 24. Cuando el mamparo 24 está en su lugar, como se muestra en la Figura 1, la superficie 37 de saliente puede apoyarse en la superficie superior 13 del acumulador 12 y puede ayudar a resistir el movimiento ascendente del mamparo 24 a través de la abertura 27. El mamparo 24 puede fijarse a, y preferiblemente sellarse con, 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.

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 el pozo 18 y el acumulador 12 de múltiples piezas de hormigón armado.

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), 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 10 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 10 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.

5 Cuando la abertura primaria 27 se extiende a lo largo de la pared lateral 21 del acumulador 12, 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 16 de líquido (es decir, la interfaz entre la capa 16 de líquido 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).

15 Como se ilustra en la representación esquemática de la Figura 27, la abertura primaria 27 se proporciona en la pared lateral 15 del acumulador 12 y el mamparo 24 se coloca de modo que generalmente está parcialmente sumergido en la capa 16 de líquido y parcialmente expuesto a la capa de gas 14 cuando el sistema 10H está en uso. En este ejemplo, el conducto 22 de suministro de gas pasa a través del mamparo 24 y está dispuesto de modo que su extremo inferior 62 esté ubicado hacia la parte superior del acumulador 12 de modo que permanezca en comunicación con la capa de gas 14, y aislado de manera fluida de la capa 16 de líquido, independientemente del nivel del líquido dentro del acumulador 12. Como alternativa, el conducto 22 de suministro de gas puede colocarse de modo que no pase a través del mamparo 24 cuando el sistema está configurado de esta manera.

25 En las realizaciones de las Figuras 1 y 27, 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.

40 Con referencia a la Figura 28, otra realización de un sistema de almacenamiento de gas comprimido 10I está configurada con una división que incluye una proyección 200A, identificada mediante sombreado cruzado en la Figura 28, que se forma generalmente a partir del mismo material que el suelo circundante 200. En este ejemplo, el sistema 10I no necesita incluir un mamparo 24 fabricado por separado como se muestra en otras realizaciones. El sistema 10 en esta realización está configurado de modo que el conducto 22 de suministro de gas esté separado de la proyección 200A y no se extienda a través del tabique. En cambio, se puede proporcionar un pozo u orificio separado para alojar el conducto 22. Para ayudar a proporcionar comunicación líquida entre el interior del pozo 18 y la capa de líquido 16, se puede proporcionar un conducto de suministro de líquido 40 para extenderse a través de la proyección 200A o, como se ilustra, al menos parte del conducto de suministro de líquido 40 puede ser proporcionado por un canal de flujo que pasa por debajo de la proyección 200A y conecta de manera fluida el pozo 18 a la capa de líquido 16, y en los extremos 64 y 66 del conducto de suministro de líquido 40 puede estar el abierto extremos del paso.

Opcionalmente, en realizaciones de este tipo, el conducto 22 de suministro de gas puede estar dispuesto para pasar a través del tabique/proyección 200A como se ilustra en la Figura 28. En esta disposición (y en la realización mostrada en la Figura 27), el conducto 22 puede configurarse de modo que su extremo 62 se coloque hacia el lado superior del acumulador 12 para ayudar a evitar que la capa 16 de líquido alcance el extremo 62. Como alternativa, el conducto de suministro de gas 22 no necesita pasar a través del tabique, como se ilustra esquemáticamente usando líneas discontinuas para el conducto alternativo 22.

60 Opcionalmente, el sistema 10I puede disponerse de modo que el conducto 22 de suministro de gas pase al menos parcialmente a través del conducto 40 de suministro de líquido. Esto puede ayudar a reducir el número de aberturas que deben proporcionarse en el tabique/proyección 200A. En la realización de la Figura 28, otra disposición opcional del conducto de suministro de gas 22 se muestra usando líneas discontinuas y pasa a través del canal de flujo, desde el pozo 18 hacia el interior del acumulador 12. En esta disposición, el conducto 22 de suministro de gas está anidado en, y pasa a través de, el conducto 40 de suministro de líquido y también pasa por debajo de la proyección 200A. Opcionalmente, una configuración en la que al menos parte del conducto de suministro de gas 22 se recibe dentro de

una parte del conducto de suministro de líquido 40 también puede utilizarse en otras realizaciones del sistema 10 (incluidas las descritas e ilustradas en el presente documento), incluyendo aquellas en las que tanto el conducto de suministro de líquido 40 como el conducto de suministro de gas 40 pasan a través del tabique.

- 5 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, pueden entrar en contacto y ejercer presión sobre la superficie interior 29 del mamparo 24, lo que dará como resultado una fuerza interna de actuación interna generalmente hacia el exterior, (hacia arriba en esta realización) del acumulador, 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 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.

- 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 m³ 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 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 59 de control de flujo 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 del acumulador 41 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 del acumulador 41 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 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 14 comprimido usando cualquier subsistema de compresor/expansor 100 adecuado y el agua puede transportarse entre la capa 16 de líquido y el agua 20 en el pozo 18.

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 40 de líquido está configurado para transportar agua entre la capa 16 de líquido y el agua 20 en el pozo 18. Cada conducto 22 y 40 pueden estar formados por cualquier material adecuado, incluyendo metal, 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 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 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 28, 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 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 40 de líquido puede facilitar el intercambio de líquido entre la capa 16 de líquido y el agua 20 en el pozo 18. Como se ilustra en la Figura 1, el conducto 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 líquido 40 hacia el pozo 18 contra la presión 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 reequilibrán automáticamente a medida que se fuerza el gas hacia el interior del acumulador 12.

Preferiblemente, el extremo inferior 64 del conducto 40 de líquido se coloca de modo que esté y generalmente permanezca sumergido en la capa de líquido 16 mientras el sistema 10 está en uso, 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 0,01 % 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 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 líquido 40 se ubica preferiblemente en un punto relativamente 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 de gas de la capa de gas, para ayudar a facilitar la extracción de gas de la capa de gas, el extremo inferior 62 del conducto de gas 22 se ubica preferiblemente cerca de la pared superior 13 o en un punto relativamente alto en el 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.

La Figura 5 es una vista esquemática de componentes del subsistema de compresor/expansor 100 para el sistema 10 de almacenamiento de energía de gas comprimido descrito en el presente documento, de acuerdo con una realización. En este ejemplo, el subsistema de compresor/expansor 100 incluye un compresor 112 de única o múltiples etapas, accionado por un motor 110 que de 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 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 8) 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 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.

Se entenderá, que el aire que entra o sale del subsistema de compresor/expansor 100 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 particular del compresor 112 o expansor 116. 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.

Liberación de gas auxiliar

Opcionalmente, el sistema de almacenamiento de energía de gas comprimido 10 puede incluir uno o más subsistemas de liberación de gas auxiliares que están separados del conducto de gas 22 para ayudar a facilitar la liberación de gas de la capa de gas comprimido 14. Por ejemplo, si la presión dentro del acumulador 12 se acerca y/o supera una presión de almacenamiento máxima deseada, ventilar al menos parte del gas de la capa de gas comprimido 14 puede ayudar a reducir la presión a un intervalo deseado. Esto también se puede usar para ayudar a evitar que la capa de gas comprimido 14 alcance un nivel en el que entre en comunicación fluida con el extremo inferior 64 del conducto 40. Un subsistema de liberación de gas auxiliar de este tipo incluye preferiblemente al menos un conducto de liberación de gas auxiliar que está separado del conducto de suministro de gas 22 y puede configurarse para ventilar el gas al suelo, en un pozo de ventilación separado, en el pozo lleno de agua 18 u otra ubicación deseada. Por ejemplo, el subsistema de liberación de gas puede permitir una mayor flexibilidad para regular la presión dentro del sistema 10 al ser operable

para liberar gas en el caso de que el diferencial entre la presión que se apoya contra el exterior del mamparo 24 desde dentro del pozo 18 y la presión que se apoya contra el interior del mamparo 24 desde dentro del acumulador 12 se eleva a un nivel tal que amenaza la integridad del mamparo 24 o su instalación en su lugar. Por ejemplo, en caso de que el líquido 20 en el pozo 18 se reduzca a un nivel que reduzca la presión y, por lo tanto, reduzca la magnitud de la

5 contrafuerza 46 que actúa sobre el mamparo 24 por debajo de un nivel deseado, el subsistema de liberación de gas puede permitir la liberación de la presión dentro del acumulador 12.

En esta realización, el subsistema de liberación de gas incluye un conducto de liberación de gas auxiliar 45 que está separado del conducto de suministro de gas 22 y una válvula opcional 42 (véanse Figuras 1-4) que está en comunicación con la capa de gas comprimido 14 y está, en este ejemplo, asociada con el mamparo 24. La válvula 42 puede ser preferiblemente una válvula unidireccional o de retención de modo que pueda permitir que el gas se desplace desde la capa de gas comprimido 14 al interior del pozo 18, pero impide o evita el flujo de agua 20 desde el pozo 18 hacia el acumulador 12. La válvula 42 puede accionarse usando cualquier mecanismo adecuado, incluyendo configurarse como una válvula sensible a la presión que puede desviarse hacia una configuración cerrada y se abrirá, preferiblemente de manera automática, cuando la presión en la capa de gas comprimido 14 supera un límite umbral preestablecido, y/o puede configurarse para abrirse y cerrarse de forma remota (tal como a través de un accionamiento hidráulico o eléctrico remoto) para permitir que el gas de la capa de gas 14 escape a través del mamparo 24 bajo demanda. Opcionalmente, la válvula 42 puede ser controlada por el controlador 118 usando un sistema de accionamiento de válvula adecuado que puede incluir, por ejemplo, accionadores mecánicos, accionadores electromecánicos, accionadores de solenoide, y similares. Por ejemplo, si la válvula 42 se abre para liberar gas comprimido fuera del acumulador 12, y si y cómo el gas comprimido se enruta a través de otras partes del sistema 10 (tal como un subsistema de almacenamiento térmico 120 (véanse Figuras 8-9) durante un ciclo de acumulación o expansión como se describe en el presente documento).

Se prefiere que las dimensiones del pozo 18, el acumulador 12 y la integridad del mamparo 24 estén relacionados entre sí de una manera que permita que la capa de gas comprimido 14 en el acumulador se mantenga dentro de un intervalo de presión que maximice la eficiencia del equipo utilizado en el subsistema de compresor/expansor 100. Opcionalmente, el sistema 10 puede configurarse para almacenar la capa de gas comprimido a presiones de entre aproximadamente 20,27 bar (20 atm) y aproximadamente 40,53 bar (40 atm). Con el tiempo, para una operación eficiente continua, dicho equipo puede requerir que se realice un ajuste en el intervalo de presión. Esto se puede hacer ajustando la cantidad de líquido 20 en el pozo 18 y el nivel de compresión de gas dentro del acumulador 24, ajustando los tamaños de los conductos y similares.

Opcionalmente, el mamparo 24 puede incluir una o más aberturas u otras estructuras adecuadas para alojar el conducto de gas 22, el conducto de líquido 40, el conducto de liberación de gas auxiliar 45 y otros conductos de este tipo, de modo que los conductos pasen a través del mamparo 24 para entrar en el interior 23 del acumulador 12. Pasar los conductos y otras estructuras de este tipo a través del mamparo 24 puede eliminar la necesidad de hacer pozos/perforaciones adicionales para llegar al acumulador 12 y puede reducir el número de aberturas individuales requeridas en la pared superior 13. Haciendo referencia a las Figuras 2-4, extendiéndose a través del cuerpo principal 25 hay una primera abertura 28 para alojar el paso del conducto 22 de gas desde la parte superior del mamparo 24 en el pozo 18 a través de la capa 14 de gas dentro del acumulador 12. El conducto de gas 22 está preferiblemente sellado a/dentro de la primera abertura 28 para minimizar, y preferiblemente evitar, fugas u otra liberación incontrolada de gas comprimido dentro del acumulador 12 en el pozo 18 o agua 20 dentro del pozo 18 en el acumulador 12. También se extiende a través del mamparo 24 una segunda abertura 32 para alojar el paso del conducto 40 de líquido desde encima del mamparo 24 en el pozo 18 a través de la capa 16 de líquido dentro del acumulador 12. El conducto de líquido 40 está sellado dentro de la segunda abertura 32 para minimizar, y preferiblemente evitar, la liberación descontrolada de gas comprimido dentro del acumulador 12 en el pozo 18 o agua 20 dentro del pozo 18 en el acumulador 12 (excepto a través del conducto 40).

También se extiende a través del mamparo 24, en este ejemplo, una tercera abertura 44 para acomodar el paso de gas desde la capa de gas comprimido 14 hacia la válvula 42 y a través del conducto de liberación de gas auxiliar 45 para liberar gas de la capa de gas comprimido 14 en el caso de que el diferencial de presión analizado requiera una reducción. Se entenderá que la válvula 42 no tiene que asentarse necesariamente sobre el mamparo 24 y, de hecho, puede integrarse dentro de la tercera abertura 44 o asociarse con la tercera abertura 44 de alguna otra manera. La válvula 42 también puede integrarse en la segunda abertura 32 y el conducto de líquido 40, eliminando así la necesidad de la tercera abertura 44.

En esta realización, se proporciona una galería de acceso 30 que se puede abrir y volver a sellar para permitir el acceso de mantenimiento por parte del personal de mantenimiento al interior del acumulador 12, para su inspección y limpieza. Esto se haría cerrando la válvula de control de flujo 59 (Figura 1) y vaciando el pozo 18 del líquido 20 y vaciando el acumulador 12 de gas comprimido para permitir de este modo que se abra la galería de acceso 30 y que el personal pase de un lado a otro. En cuanto al mamparo 24, son posibles variaciones. Por ejemplo, en una realización alternativa, el mamparo 24 solo puede tener una primera y segunda aberturas 28, 32, pero no una galería de acceso 30. En una realización alternativa, el mamparo 24 puede incluir una galería de acceso 30, pero no es necesario que contenga una primera y segunda aberturas 28, 32 y los conductos 22 y 40 no pasan a través del mamparo 24. En todavía otra realización alternativa, el mamparo 24 no contiene galería de acceso ni aberturas, de modo que la

comunicación de fluido con el acumulador 12 no pase a través del mamparo 24. Opcionalmente, también se puede proporcionar una galería de acceso o similar en otros tipos de tabiques, incluyendo, por ejemplo, la proyección 200A como se muestra en la realización de la Figura 28.

- 5 Opcionalmente, se puede proporcionar un conducto u otro tipo de estructura de guía para ayudar a canalizar el gas que se ventila desde el acumulador 12 a través del conducto de liberación de gas auxiliar 45 y, opcionalmente, a través de la válvula de liberación de gas 42. Por ejemplo, en algunas circunstancias, puede ser deseable dirigir el gas que se escapa a lo largo de una trayectoria particular a través del pozo 18, en lugar de simplemente liberar el gas libremente en la columna de agua 20. La Figura 6A es una vista en sección de componentes de una realización alternativa de un sistema de almacenamiento de energía de gas comprimido 10A, que es análogo al sistema de almacenamiento de energía de gas comprimido 10 como se ha descrito anteriormente, y las características similares se identifican usando caracteres de referencia similares. Sin embargo, en este ejemplo, el subsistema de liberación de gas incluye además un conducto de guía 53 que se extiende desde un extremo de entrada inferior 68 adyacente a la salida del conducto de liberación de gas auxiliar 45 (en este ejemplo, la salida de la válvula de liberación de gas 42) hacia arriba hasta un extremo de salida superior 70 que puede proporcionarse hacia el extremo superior del pozo 18 y, opcionalmente, puede sobresalir por encima de la superficie libre del agua 20 retenida en el pozo 20.

El conducto de guía 53 tiene una anchura 72 (que también puede denominarse diámetro si el conducto de guía 53 es una tubería cilíndrica), y un área en sección transversal relacionada (tomada en un plano paralelo al plano 19) puede configurarse de modo que está entre aproximadamente el 0,5 % y aproximadamente el 5 % del área de la sección transversal del pozo 18. Como se muestra también en la Figura 7A, el extremo inferior 68 del conducto de guía 53 puede colocarse cerca de, y preferiblemente superpuesto sustancialmente a toda la salida del conducto de liberación de gas auxiliar 45, de modo que el gas que sale de la válvula 42 tiende a entrar en el extremo inferior 68 del conducto de guía 53 y luego se restringe dentro del conducto de guía 53 a medida que continúa desplazándose hacia arriba a través del pozo 18 y hasta que alcanza el extremo de salida 70.

Como el gas que sale del acumulador 12 a través del conducto de liberación de gas auxiliar 45 puede tender a estar a una presión relativamente alta (y puede tender a liberarse generalmente en situaciones de tipo sobrepresurización), las burbujas de gas dentro del agua 20 pueden tender a expandirse a medida que se mueven hacia arriba a través del pozo 18. En algunas circunstancias, la expansión de las burbujas de gas puede tender a desplazar el agua 20 desde dentro del pozo 18 (por ejemplo, forzando el agua a través del conducto 20 y hacia la fuente/sumidero de líquido 150). Esto puede tener el efecto de reducir la masa de agua que descansa sobre el mamparo 24 (es decir, puede reducir la densidad promedio del interior 54 del pozo 18), lo que puede reducir la presión hidrostática que actúa sobre la superficie superior 31 y, a su vez, reducir la magnitud de la contrafuerza 46. Si el gas se está ventilando a través de la válvula de liberación de gas 42 porque la presión interna del acumulador es demasiado alta y, por lo tanto, la magnitud de la fuerza interna del acumulador 41 es demasiado alta, esta reducción en la magnitud de la contrafuerza 46 puede aumentar aún más el desequilibrio de fuerzas en el mamparo 24 y puede tender a exacerbar la condición de sobrecarga del mamparo 24.

Como se ilustra, el conducto de guía 53, o una estructura similar para ayudar a restringir la expansión de las burbujas de gas, puede funcionar como una estructura/límite de prevención de cambio de densidad; que puede recibir el gas comprimido que se libera del acumulador 12 a través del conducto de liberación de gas auxiliar 45 y transportarlo hacia arriba y fuera del pozo 18 mientras restringe su expansión máxima al volumen interno del conducto de guía 53. Esto puede ayudar a limitar la cantidad de agua desplazada por la expansión, las burbujas de gas ascendentes, y puede ayudar a reducir la disminución de la contrafuerza 46 durante un evento de liberación/ventilación de gas. Es decir, el conducto de guía 53 también sirve para contener físicamente las burbujas de gas a medida que salen de la válvula de liberación de gas 42 para evitar así que las burbujas de gas, a medida que suben hacia arriba a través del agua 20 para salir del sistema 10A (o 10J), desplacen mucha agua 20 más allá de la cantidad de agua 20 que estaba contenida dentro del conducto de guía 53. Esta característica adicional puede ayudar a salvaguardar aún más la cantidad de agua 20 en el pozo 18 para salvaguardar de ese modo la cantidad de presión hacia abajo que se ejerce sobre el mamparo 24. Se entendería que esto puede ayudar a facilitar una liberación más rápida de aire comprimido a través del conducto de liberación de gas auxiliar 45, si fuera necesario, de lo que sería aconsejable usando versiones del sistema 10 que no incluyen un conducto de guía 53. Por ejemplo, en ausencia del conducto de guía 53, el gas liberado desde la válvula de liberación de gas 42 o el conducto de liberación de gas auxiliar 45 podría elevarse y extenderse libremente a través del pozo 18. A medida que tales burbujas de gas que se propagan libremente aumentan de volumen al elevarse (descomprimirse), desplazarían el agua 20 del pozo 18, reduciendo así la cantidad de presión descendente ejercida por el agua 20 sobre el mamparo 24. El conducto de guía 53 controla esta liberación de burbujas de gas, forzándolas a expandirse hacia arriba a través del conducto de guía 53 en lugar de hacia fuera en el resto del pozo 18, preservando así la mayor parte del volumen de agua 20 en el pozo 18. El conducto de guía 53 que controla la liberación de burbujas de gas puede ayudar a evitar fallas catastróficas debido a cambios de densidad que hacen que el mamparo 24 se libere, pandee o falle de otra manera debido a un desequilibrio de fuerza neta relativamente repentino.

Preferiblemente, el interior del conducto de guía 53 está en comunicación fluida con el interior 54 del pozo 18, tal como teniendo el extremo inferior 68 al menos parcialmente abierto, de modo que el interior del conducto de guía 53 pueda llenarse generalmente con agua 20 cuando el sistema está en uso normal (es decir, cuando el conducto de guía 53

no está lleno de gas ventilado), mientras aún está configurado para recibir el gas ventilado. De esta forma, el conducto de guía 53 desplaza menos agua 20 del pozo 18 de lo que lo haría si el conducto de guía 53 estuviera sellado al mamparo 24 y solo contuviera aire/gas. Con su interior lleno de agua, el conducto de guía 53 puede, en algunos ejemplos, solo desplazar una cantidad de agua que es aproximadamente igual al volumen de las paredes laterales del conducto de guía 53.

Aunque se muestra como un conducto vertical generalmente recto para facilitar la ilustración, el conducto de guía 53 puede tener otras configuraciones y no es necesario que sea vertical ni/o lineal. Opcionalmente, en algunos ejemplos, el extremo superior 70 del conducto de guía 53 no necesita colocarse por encima de la superficie del agua 20 en el pozo 18, pero puede sumergirse en el mismo. En tales disposiciones, los efectos de limitación de expansión del conducto de guía 53 pueden reducirse en alguna medida (es decir, puede desplazarse finalmente más agua que si el extremo superior 70 estuviera por encima del agua), pero otros factores como las presiones esperadas, las tasas de liberación de gas a través de la válvula 42 y similares pueden ajustarse para compensar tales diferencias para ayudar a garantizar que el agua total desplazada del pozo 18 durante una situación de ventilación de sobrepresión esté dentro de un intervalo aceptable. Preferiblemente, el extremo superior 70 puede estar en la mitad superior del pozo 18 (es decir, por encima de su punto medio), y más preferiblemente el extremo superior 70 puede estar en el 25 % superior del pozo 18 y lo más preferiblemente puede estar generalmente próximo, si no por encima, de la superficie del agua 20.

La Figura 6B es una vista en sección de componentes de una realización alternativa de un sistema de almacenamiento de energía de gas comprimido 10J, que es análogo al sistema de almacenamiento de energía de gas comprimido 10 como se ha descrito anteriormente, y las características similares se identifican usando caracteres de referencia similares. El subsistema de liberación de gas en esta realización está configurado de tal manera que el conducto de liberación de gas auxiliar 45 es sustancialmente colindante con el conducto de suministro de líquido 40 y también incluye un conducto de guía 53 que se extiende desde un extremo de entrada inferior entrada 68 hasta un extremo de salida superior 70. En esta realización, el subsistema de liberación de gas no necesita incluir una válvula 42 como se muestra en la realización de las Figuras 6A y 7A. En cambio, el exceso de presión en el acumulador 12 puede aliviarse permitiendo que al menos algo de gas salga del acumulador 12 a través del conducto de suministro de líquido 40.

Cuando el sistema 10J está funcionando en condiciones normales de funcionamiento, el extremo inferior 64 del conducto de suministro de líquido 40 está sumergido en la capa de líquido 16, lo que aísla el conducto de suministro de líquido 40 de la capa de gas 14. Si la presión dentro del acumulador 12 aumenta más allá de un umbral operativo deseado, el agua puede ser forzada desde el acumulador 12 y hacia el interior del pozo 18 a través del conducto de suministro de líquido 40. A medida que el agua sale del acumulador 12, la altura de la capa de líquido 16 puede caer a un nivel en el que el extremo inferior 64 del conducto de suministro de líquido 40 está al menos parcialmente expuesto. Esto puede permitir que parte del gas de la capa de gas comprimido 14 fluya hacia el conducto de suministro de líquido 40 y escape del acumulador 12, reduciendo así la presión dentro del acumulador 12. En esta disposición, el conducto de suministro de líquido 40 también funciona como el conducto de liberación de gas auxiliar 45. El gas que fluye a través del conducto de suministro de líquido 40/conducto de liberación de gas auxiliar 45 puede escapar al interior del pozo 18 y formar burbujas de gas en expansión como se describe en el presente documento. En esta realización, el subsistema de liberación de gas está configurado de modo que el extremo inferior 68 del conducto de guía 53 se coloca para capturar al menos parte del gas que sale del conducto de suministro de líquido 40/conducto de liberación de gas auxiliar 45, y para contener el gas como se describe en relación con la realización de las Figuras 6A y 7A. Esta realización puede eliminar la necesidad de incorporar una válvula separada 42 y accionadores asociados, etc., lo que puede ayudar a simplificar el sistema 10J (por ejemplo, en comparación con el sistema 10A) y puede ayudar a reducir el número de aberturas que deben proporcionarse en el mamparo 24.

A medida que la presión dentro del acumulador 12 cae como resultado del escape de gas, el líquido puede fluir hacia el acumulador a través del conducto de suministro de líquido 40 y el nivel del líquido en la capa de líquido 16 puede aumentar para cubrir el extremo inferior 64 del conducto de suministro de líquido 40. Esto puede volver a aislar la capa de gas comprimido 14 del conducto de suministro de líquido 40 y puede detener la liberación de gas a través del conducto de suministro de líquido 40.

Opcionalmente, también se puede usar un sistema de liberación de gas y un conducto de guía 53 configurado adecuadamente con el mamparo orientado verticalmente 24 de la realización de la Figura 27 y/o con otras realizaciones de tabiques, tal como la proyección que se muestra en la realización de la Figura 28.

Subsistema de almacenamiento térmico

El sistema de almacenamiento de energía de gas comprimido de la invención reivindicada incluye un subsistema de almacenamiento térmico. En una realización, el subsistema de almacenamiento térmico se puede usar para absorber calor del gas comprimido que se está dirigiendo al acumulador 12 (es decir, aguas abajo del compresor 112), capturar al menos una parte de la energía térmica durante un período de tiempo y, a continuación, opcionalmente, liberar el calor de vuelta al gas que se está extrayendo/liberando del acumulador 12 (es decir, aguas arriba del expansor 116). En dichos ejemplos, el gas puede salir del subsistema de compresor/expansor 100, después de comprimirse, a una temperatura de salida de entre aproximadamente 180 °C y aproximadamente 300 °C y puede ser enfriado por el

subsistema de almacenamiento térmico a una temperatura de almacenamiento que es menor que la temperatura de salida y puede estar entre aproximadamente 30 °C y aproximadamente 60 °C en algunos ejemplos.

La Figura 8 es una vista en sección de componentes de un sistema de almacenamiento de energía de gas comprimido 10B, de acuerdo con una realización alternativa. El sistema de almacenamiento de energía de gas comprimido 10B es similar a los sistemas de almacenamiento de energía de gas comprimido 10 y/o 10A, con la adición de 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. En este ejemplo, 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. La invención reivindicada requiere que el aparato de almacenamiento térmico incluya un aparato de almacenamiento sensible. El aparato o aparatos de almacenamiento térmico pueden configurarse como aparato o aparatos de almacenamiento de una sola etapa, dos etapas y/o múltiples etapas. El subsistema de almacenamiento térmico 120, o partes del mismo, puede ubicarse en cualquier ubicación adecuada, incluyendo sobre el suelo, bajo tierra, dentro del pozo 18, dentro del acumulador 12, y similares. En la realización ilustrada, el subsistema de almacenamiento térmico 120 está ubicado bajo tierra, lo que puede ayudar a reducir el uso de terrenos sobre el suelo, y 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 durante un ciclo de acumulación 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).

De manera similar, durante un ciclo de expansión 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 cálida/más alta que la temperatura de almacenamiento, 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.

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® fabricada por Coastal Chemical Co. de Houston, Texas.

En las realizaciones del subsistema de almacenamiento térmico 120 que emplean almacenamiento de calor sensible, agua a presión o cualquier otro fluido y/o refrigerante adecuado, puede emplearse como medio de almacenamiento de calor sensible. Tal agua se presuriza y se mantiene a una presión operativa que es suficiente para mantener generalmente el agua en su fase líquida durante el proceso de absorción de calor. 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. La invención reivindicada requiere que el aparato de almacenamiento sensible use un fluido de almacenamiento sensible que comprende agua, por lo que la energía térmica se extrae del gas comprimido que sale

del subsistema de compresor/expansor de gas a una temperatura de salida y almacenarse en el subsistema de almacenamiento térmico de manera que la temperatura del gas que sale del subsistema de almacenamiento térmico se reduce a una temperatura de almacenamiento que es menor que la temperatura de salida, y el agua en el aparato de almacenamiento sensible se calienta a una temperatura de almacenamiento de 100 grados Celsius o más y se mantiene a una presión operativa que es suficiente para mantener generalmente el agua en su fase líquida durante el uso.

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. Esto puede ayudar a aislar tales partes del conducto de gas 22 y puede ayudar a reducir la transferencia de calor entre el gas dentro del conducto 22 y el agua 20. Esto puede ser particularmente útil para partes del conducto de gas 22 que se extienden entre el subsistema de compresor/expansor 100 y el subsistema de almacenamiento térmico 120, 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. 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 y reducir mientras el calor perdido en tránsito.

La Figura 9 es una representación esquemática de un sistema de almacenamiento de energía de gas comprimido 10C, de acuerdo con una realización alternativa. El sistema de almacenamiento de energía de gas comprimido 10C es similar a los otros sistemas de almacenamiento de energía de gas comprimido descritos en el presente documento, pero está configurado de modo que la parte superior 22A del conducto de gas 22 que transporta gas comprimido entre el subsistema de almacenamiento térmico 120 y el subsistema de compresor/expansor 100 se extiende a través del suelo 200 y no a través del pozo 18 y el agua 20. Son posibles variaciones adicionales.

Asimismo, mientras que en las realizaciones ilustradas el subsistema de almacenamiento térmico 120 recibe gas comprimido de, o proporciona gas comprimido a, el subsistema de compresor/expansor 100, son posibles alternativas en las que el almacenamiento térmico está más estrechamente integrado con múltiples etapas del compresor 112 y múltiples etapas del expansor 116 para almacenar energía térmica entre etapas. Esto se puede hacer para permitir que las piezas de equipo en las etapas aguas abajo del compresor 112 y el expansor 116 reciban y manejen gas comprimido a una temperatura que esté dentro de sus intervalos de funcionamiento más eficientes. Por ejemplo, los componentes del subsistema de almacenamiento térmico 120 pueden colocarse de la misma manera o de manera análoga, y opcionalmente en combinación con, los intercambiadores de calor 500a, 500b, 500c, etc. mostrados en las realizaciones de las Figuras 11A-15 y como se describen en el presente documento. Esto puede ayudar a facilitar la transferencia y/o almacenamiento de calor en dos o más etapas en el proceso, lo que puede ayudar a mejorar la eficiencia del sistema.

Con referencia a la Figura 16, otro ejemplo de un subsistema de almacenamiento térmico 120 está sumergido en el líquido 20 dentro del pozo 18 y transporta aire desde y hacia el subsistema de compresor/expansor 100 para almacenar y liberar calor desde y hacia el aire transportado. En esta disposición, el subsistema de almacenamiento térmico 120 intercambia calor entre el material de almacenamiento térmico dentro del subsistema de almacenamiento térmico 120 y el aire que se transporta a través del mismo, para así suministrar aire con intercambio de calor A' a la capa de gas 14 en el acumulador 12. En esta realización, el subsistema de almacenamiento térmico 120 tiene una sola etapa (para su uso con el subsistema de compresor/expansor de una sola etapa 100) pero incluye una combinación de múltiples secciones de material latente (L) y sensible (S).

En esta realización, cada una de las secciones de material latente contiene una cantidad respectiva de material de cambio de fase (PCM) y la sección de material sensible contiene una cantidad respectiva de agua u otro material líquido, masa térmica sólida o cualquier otro material que sea adecuado para absorber calor. La cantidad y el tipo de material se establecen/seleccionan preferiblemente para una realización dada basándose en las duraciones de las fases de almacenamiento y liberación del sistema de almacenamiento de energía de aire comprimido específico. Esto puede ayudar a garantizar que el tiempo que tarda el PCM en cambiar de fase o que el líquido se caliente o se enfríe mientras almacena o libera calor generalmente se "coincide" con la temporización de la fase. Esto puede ayudar a facilitar el uso relativamente eficiente del propio material para la función de almacenamiento y liberación de calor, en comparación con el uso de un material PCM que es demasiado lento o demasiado rápido para responder.

Haciendo referencia también a la Figura 17, opcionalmente, una "camisa" aislante 125 (mostrada en líneas discontinuas para no ocluir partes del subsistema de almacenamiento térmico 120) puede envolverse alrededor de una parte superior del subsistema de almacenamiento térmico 120 para proporcionar algo de aislamiento térmico entre

el líquido 20 en el pozo 18 y el subsistema de almacenamiento térmico 120 para promover de este modo una rápida estratificación de calor, lo que puede ayudar a aumentar el rendimiento de un sistema de almacenamiento de calor PCM. Como se ha descrito anteriormente, el aire A del subsistema de compresor/expansor 100 que entra del entorno puede acondicionarse para convertirse en aire A' (véase Figuras 11A y 11B) antes de su entrada al compresor 112 haciendo pasar el aire a través del subsistema de almacenamiento térmico 120 de este modo para hacer que el aire A' esté a una temperatura adecuada para un intervalo de funcionamiento eficiente de una etapa particular del compresor 112.

Opcionalmente, el controlador 118 también puede configurarse para cambiar la condición del subsistema de almacenamiento térmico 120 para cambiar la naturaleza del calor que se intercambia entre el aire que llega a través del subsistema de almacenamiento térmico 120 al compresor 112 y el material de almacenamiento térmico en el subsistema de almacenamiento térmico 120 o para cambiar la ruta del aire al compresor 112 para que no pase a través del subsistema de almacenamiento térmico 120.

La Figura 18 es una vista esquemática de componentes de un subsistema de compresor/expansor alternativo 100 para el sistema de almacenamiento de energía de gas comprimido 10, con múltiples etapas de compresión y cada una está asociada con una etapa respectiva de un subsistema de almacenamiento térmico 120. En particular, durante una fase de compresión (almacenamiento), el aire entrante del ambiente A se transporta primero, opcionalmente a través de un intercambiador de calor para modificar la temperatura del aire entrante, en el compresor 112a accionado por el motor 110a para una primera etapa de compresión. Después de la primera etapa de compresión, el aire A se transporta a continuación a través de una primera etapa 120a de un subsistema de almacenamiento térmico 120 para almacenar el calor extraído del aire A, para así acondicionarse para ser aire A' que luego se transporta al compresor 112b accionado por el motor 110b para una segunda etapa de compresión. Después de la segunda etapa de compresión, el aire A' se transporta a continuación a través de cualquier etapa adicional del subsistema de almacenamiento térmico 120, tal como la segunda etapa 120b del subsistema de almacenamiento térmico 120, para almacenar calor en las etapas respectivas que se acondicionarán para ser aire A''. Una última etapa del subsistema de almacenamiento térmico 120 se representa en este ejemplo como la etapa 120x que almacena calor del aire comprimido que se ha comprimido por el compresor 112x accionado por el motor 110x para ser acondicionado de este modo para ser el aire A''. Siguiendo esta x^{ésima} etapa de compresión y almacenamiento térmico, el aire A'' se transporta hacia abajo al acumulador 12 como se ha descrito anteriormente con respecto a otras realizaciones. El calor almacenado en las etapas del subsistema de almacenamiento térmico 120 durante una fase de almacenamiento puede almacenarse en su totalidad para reincorporarse al aire que se libera durante una fase de liberación como se describirá, pero puede emplearse en cierta capacidad o cantidad para otros fines del sistema de almacenamiento de energía de gas comprimido, como para ayudar a regular la temperatura de otro subsistema. Cabe señalar que, si bien se muestran tres etapas de compresión con respectivas etapas de almacenamiento térmico, un sistema de almacenamiento de energía de gas comprimido de acuerdo con esta realización puede tener solo dos o más de tres etapas de compresión con respectivas etapas de almacenamiento térmico. Asimismo, en realizaciones alternativas, una etapa dada de compresión no siempre está seguida necesariamente por una etapa de almacenamiento térmico. Asimismo, en realizaciones alternativas, el aire entrante que aún no se ha comprimido en el sistema de almacenamiento de energía de gas comprimido puede pasar primero a través de un subsistema de almacenamiento térmico o etapa del mismo para reducir su contenido de calor antes de entrar en un compresor, en lugar de un intercambiador de calor que podría disipar el calor del sistema.

La Figura 19 es una vista esquemática de componentes de un subsistema de compresor/expansor alternativo para el sistema de almacenamiento de energía de gas comprimido, con múltiples etapas de expansión, cada una asociada con una etapa respectiva de un subsistema de almacenamiento térmico 120. En particular, durante una fase de expansión (liberación), el aire comprimido A liberado del acumulador 12 se transporta primero a través de una primera etapa 120a de un subsistema de almacenamiento térmico 120 para incorporar el calor de la etapa 120a en el aire que se transporta para acondicionarse de este modo como el aire A'. El aire A' se presenta a un primer expansor 116a que acciona un generador 114a para una primera etapa de expansión. Después de la primera etapa de expansión, el aire A' se transporta a continuación a través de una segunda etapa 120b del subsistema de almacenamiento térmico 120 para incorporar el calor almacenado en el aire que se transporta para que se acondicione para que sea aire A'', que luego se transporta al expansor 116b que acciona el generador 114b para una segunda etapa de expansión. Después de la segunda etapa de compresión, el aire A'' se transporta a través de cualquier etapa adicional del subsistema de almacenamiento térmico 120. Una última etapa del subsistema de almacenamiento térmico 120 se representa en este ejemplo como etapa 120x, que almacena calor y libera el calor almacenado en aire comprimido que se transporta a través de la etapa 120x para acondicionarlo como el aire A''. Siguiendo esta x^{ésima} etapa de expansión y liberación de calor del almacenamiento térmico, el aire A'' se transporta a la atmósfera ambiente A como se ha descrito anteriormente con respecto a otras realizaciones. El calor almacenado en las etapas del subsistema de almacenamiento térmico 120 puede haberse almacenado a partir del aire entrante comprimido durante una fase de almacenamiento del sistema de almacenamiento de energía de gas comprimido, pero como alternativa o en alguna combinación puede haberse almacenado durante la operación de otro aspecto o subsistema del sistema de almacenamiento de energía de gas comprimido, tal como durante la regulación de temperatura de otro subsistema. Cabe señalar que, si bien en la Figura 19 se muestran tres etapas de expansión con respectivas etapas de almacenamiento térmico, un sistema de almacenamiento de energía de gas comprimido de acuerdo con esta realización de la invención puede tener solo dos o más de tres etapas de expansión con respectivas etapas de

almacenamiento térmico. Asimismo, en realizaciones alternativas, una etapa dada de expansión no siempre está necesariamente precedida en la cadena de procesamiento por una etapa de liberación de calor del almacenamiento térmico. Asimismo, en realizaciones alternativas, el aire que se expande (descomprime) puede pasar a través del intercambiador de calor como se describe en el presente documento, para acumular calor en lugar de a través de un subsistema de almacenamiento térmico o etapa del mismo para aumentar su contenido de calor antes de entrar en un expansor.

La Figura 20 es una vista esquemática de componentes de un subsistema de compresor/expansor alternativo para el sistema de almacenamiento de energía de gas comprimido, con pares de etapas de compresión y expansión, cada una asociada con una etapa respectiva del subsistema de almacenamiento térmico 120. En esta realización, se usa una fase dada 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 una etapa 120a, 120b, 120x del subsistema de almacenamiento térmico 120 y el flujo de aire se controla usando las válvulas V, como se muestra en la Figura. Esta realización es apropiada cuando el "mismo" calor almacenado del aire comprimido que se transporta hacia el acumulador 12 durante una fase de almacenamiento se va a liberar en el aire que se libera del acumulador 12 durante una fase de liberación.

La Figura 21 es una vista esquemática de los componentes del subsistema de compresor/expansor alternativo de la Figura 20, que muestra el flujo de aire durante una fase de expansión (liberación) desde el almacenamiento a través de múltiples etapas del expansor y múltiples etapas respectivas 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 expansión de una manera similar a la que se muestra en la Figura 19. 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.

La Figura 22 es una vista esquemática de los componentes del subsistema de compresor/expansor alternativo de la Figura 20, 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 etapas respectivas 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 de una manera similar a la que se muestra en la Figura 18. 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.

La Figura 23 es una vista en sección de componentes de un sistema de almacenamiento de energía de gas comprimido alternativo 10D, de acuerdo con una realización. En esta realización, el sistema de almacenamiento de energía de gas comprimido 10D 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 está ubicado dentro del acumulador 12 y está 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 hasta arriba de 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 del 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. La válvula 130 de regulación 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 120 pueden configurarse para sumergirse parcial o totalmente dentro de la capa de líquido 16.

La Figura 24 es una vista en sección de componentes de un sistema de almacenamiento de energía de gas comprimido alternativo 10E, de acuerdo con otra realización alternativa. En esta realización, el sistema de almacenamiento de energía de gas comprimido 10E 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 130 de regulación 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. La válvula de regulación 130 se abre para permitir que el gas presurizado en el interior escape a la cámara presurizada 140 y se cerrará 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.

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.

Si bien la realización del sistema de almacenamiento de energía de gas comprimido 10E incluye una cámara de presión 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 un área 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.

Asimismo, si bien en las realizaciones descritas anteriormente el subsistema de almacenamiento térmico 120 está enterrado bajo tierra, se entenderá que dicho subsistema de almacenamiento térmico 120 puede estar sobre el suelo en tanques y/o puede estar bajo tierra en una caverna que está conectada al pozo 18 pero que se divide después de la construcción.

Intercambiadores de calor

Opcionalmente, los sistemas de almacenamiento de gas comprimido 10 descritos en el presente documento pueden estar provistos de uno o más intercambiadores de calor (o similares) que pueden incorporarse en el subsistema de compresor/expansor 100, por ejemplo, para ayudar a ajustar la temperatura del gas a medida que pasa a través del compresor 112 y/o el expansor 116, y opcionalmente a medida que se desplaza entre dos o más etapas de compresión y/o expansión. Dichos intercambiadores de calor pueden ser de cualquier tipo adecuado y pueden colocarse en cualquier ubicación adecuada dentro del sistema 10, y opcionalmente pueden colocarse dentro del pozo 18 y al menos parcialmente sumergidos dentro del agua 20 en el mismo de modo que el agua 20 pueda operar como una fuente/sumidero de calor para los intercambiadores.

Como se muestra en la Figura 10, un ejemplo de un intercambiador de calor 500 se sumerge en el líquido 20 dentro del pozo 18 y, y se coloca aguas arriba del subsistema de compresor/expansor 100, de modo que el aire ambiente A viaja a través del intercambiador de calor 500 antes de alcanzar el subsistema de compresor/expansor 100. El intercambiador de calor 500 intercambia calor entre el líquido 20 en el pozo 18 y el aire que es transportado por el intercambiador de calor 500, y puede suministrar aire con intercambio de calor (es decir, calentado o enfriado) A' al subsistema de compresor/expansor 100.

En esta realización, el intercambiador de calor 500 comprende un radiador 504 que tiene una trayectoria de aire sumergida en el líquido 20 dentro del pozo 18. Un conducto de entrada de aire 502 se extiende desde el exterior del líquido 20 hasta el radiador 504 para recibir y transportar aire atmosférico A a una trayectoria de aire del radiador. En esta realización, se puede proporcionar una cubierta de lluvia y un filtro de polvo para proteger la abertura del conducto de entrada de aire 502.

Un conducto de salida de aire 506 se extiende desde el radiador 504 para recibir y transportar el aire atmosférico después del intercambio de calor A' desde la trayectoria de aire al subsistema de compresor/expansor 100. En esta

realización, el radiador 504 está construido con tuberías generalmente térmicamente conductoras que pueden ser adecuadas para la exposición al agua 20 y para su uso a las condiciones esperadas de temperatura, flujo y corrosión. En esta realización, las tuberías están hechas de acero inoxidable, pero pueden usarse otros materiales, tales como otros metales, plástico, combinaciones de los mismos y similares.

5 Opcionalmente, el radiador 504 puede suspenderse dentro del pozo 18 usando soportes de suspensión (no mostrados) fijados a la superficie interior de la pared del pozo 18. En esta realización, el radiador 504 está montado en soportes con pasadores extraíbles u otro acoplamiento desmontable de este tipo, para permitir la extracción de los radiadores para su mantenimiento sin la necesidad de extraer el líquido del pozo 18. En una realización alternativa, el radiador 10 504 puede colgarse de una barra o barras de soporte de peso que se extienden a través del pozo 18, y puede descolgarse y sacarse del pozo 18 para su mantenimiento o sustitución. En una realización, el radiador 504 está conformado preferiblemente de modo que, a pesar de estar colocado en el pozo 18, no inhibe indebidamente el flujo de agua entre el acumulador 12 y el conducto de reabastecimiento 58. Como tal, puede colocarse generalmente verticalmente en el pozo como se muestra en las figuras para ocupar así una pequeña área de sección transversal del 15 pozo 18. Sin embargo, en otras realizaciones, el radiador 504 puede orientarse horizontalmente para doblarse como una especie de rejilla para evitar que los objetos grandes que entran accidentalmente en el pozo 18 desde arriba se hundan hasta el fondo del pozo 18.

Opcionalmente, en algunas realizaciones, el intercambiador de calor 500 que se proporciona aguas arriba del 20 compresor 112 no necesita colocarse dentro del pozo 18, y puede ubicarse en otra ubicación adecuada. En tales realizaciones, el intercambiador de calor 500 aún puede estar conectado de manera fluida al interior 54 del pozo 18, y puede configurarse para utilizar agua desde dentro del pozo 18 como una corriente en el intercambiador de calor 500. Esto puede ayudar a facilitar el intercambio de calor entre el aire que entra en el compresor 112 y el agua dentro del pozo 18. El intercambiador de calor 500 en tales realizaciones puede ser cualquier tipo adecuado de intercambiador 25 de calor que pueda facilitar la transferencia de calor entre una corriente de gas y una corriente de líquido que incluye, por ejemplo, un intercambiador de calor de contacto directo, un intercambiador de calor de tubo y carcasa, un intercambiador de calor de placas y marco, caldera, enfriador evaporativo, intercambiador de calor en espiral, intercambiador de calor de horquilla y similares.

30 En el ejemplo ilustrado, el subsistema de compresor/expansor 100 incluye un compresor 112 de única o múltiples etapas, accionado por un motor 110 que se controla usando el controlador 118. El compresor 112 es 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 22/22A para su almacenamiento en el acumulador 12 (a través del subsistema de almacenamiento térmico 120 en realizaciones que incluyen el mismo). El subsistema de compresor/expansor 100 35 también incluye un expansor 16 accionado por aire comprimido que sale del conducto de gas 22/22A durante una etapa de expansión de 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. Como se ha descrito anteriormente, el aire A del subsistema de compresor/expansor 100 que entra del entorno puede acondicionarse para convertirse en aire A' antes de su entrada al compresor 112 haciendo pasar el aire a través del intercambiador de calor 40 500 de este modo para hacer que el aire A' esté a una temperatura adecuada para un intervalo de funcionamiento eficiente de una etapa particular del compresor 112.

El controlador 118 también puede estar configurado para cambiar el estado del intercambiador o intercambiadores de 45 calor 500 a fin de cambiar la naturaleza del calor que se intercambia entre el aire que entra en el compresor 112 a través del intercambiador de calor 500 y el líquido 20 en el pozo 18, o para cambiar el enrutamiento del aire hacia el compresor 112 de modo que no pase a través del intercambiador de calor 500.

La Figura 11A es una vista esquemática de componentes de un subsistema de compresor/expansor alternativo 100 para el sistema de almacenamiento de energía de gas comprimido, con múltiples etapas de compresión, cada una 50 asociada con un intercambiador de calor respectivo. En particular, durante una fase de compresión (almacenamiento), el aire entrante del ambiente A se transporta primero a través de un primer intercambiador de calor 504a para intercambiar calor con agua 20 en el pozo 18, para así acondicionarse para ser aire A' que luego se transporta al compresor 112a accionado por el motor 110a para una primera etapa de compresión. Después de la primera etapa de compresión, el aire A' se transporta a continuación a través de un segundo intercambiador de calor 504b para 55 intercambiar calor con agua 20 en el pozo 18, para así acondicionarse para ser aire A'' que luego se transporta al compresor 112b accionado por el motor 110b para una segunda etapa de compresión. Después de la segunda etapa de compresión, el aire A'' se transporta a través de cualquier etapa de compresión adicional, incluidos los respectivos intercambiadores de calor. Un último intercambiador de calor se representa en este ejemplo como el intercambiador de calor 504x que intercambia calor con agua 20 en el pozo 18, para así acondicionarse para ser aire A''' que luego 60 se transporta al compresor 112x accionado por el motor 110x para una "xésima" etapa de compresión. Siguiendo esta xésima etapa de compresión, el aire se transporta hacia abajo al acumulador 12 como se ha descrito anteriormente con respecto a otras realizaciones.

Opcionalmente, uno o más intercambiadores de calor 500 pueden colocarse en otras ubicaciones dentro de la 65 trayectoria de flujo de fluido, y no es necesario que estén dispuestos dentro del pozo 18. En algunas configuraciones, un intercambiador de calor 500 que es externo al pozo 18 puede estar conectado de manera fluida al pozo 18, tal

como a través de conductos de fluido adecuados, de modo que el intercambiador de calor 500 aún pueda configurarse para intercambiar calor entre el aire y el agua 20 dentro del pozo 18. Por ejemplo, como se muestra en la realización alternativa de la Figura 11B.

Cabe señalar que, si bien en las Figuras 11A y 11B se muestran tres etapas de compresión con intercambiadores de calor respectivos, se entenderá que un sistema de almacenamiento de energía de gas comprimido de acuerdo con esta realización de la invención puede tener solo dos o más de tres etapas de compresión con intercambiadores de calor respectivos. Los intercambiadores de calor usados en tales realizaciones pueden ser de cualquier tipo adecuado, incluyendo intercambiadores de calor de contacto directo, de tubo y de carcasa y marco de placas.

Haciendo referencia a la Figura 11B, en este ejemplo, el intercambiador de calor 500a está fuera del pozo 18 y no está sumergido en el agua 20. Preferiblemente, el intercambiador de calor 500a puede ubicarse cerca del primer compresor 112a. Este intercambiador de calor 500a está configurado preferiblemente como un intercambiador de calor de contacto directo, en el que el aire que se extrae del entorno ambiental A se pone en contacto físico directo con el líquido, que en este caso es agua 20 extraída del pozo 18. Una entrada de gas 510 está configurada para aspirar aire del entorno, y una salida de gas 512 está conectada en conexión de fluido aguas arriba del primer compresor 112a. Una entrada de agua está conectada de manera fluida al agua 20 a través de un conducto de entrada 516 para extraer agua del pozo 18. Preferiblemente, el agua que sale del intercambiador de calor 504a, a través de un conducto de salida de agua, puede devolverse al pozo 18 a través de un conducto de salida 520. Como alternativa, se puede suministrar agua al intercambiador de calor 504a desde una fuente distinta del pozo 18, y el agua que sale del intercambiador de calor 504a se puede dirigir a un drenaje o fregadero alternativo, en lugar de ser devuelta al pozo 18. El intercambiador de calor de contacto directo 504a puede configurarse como un intercambiador de calor de flujo paralelo (flujo de aire y agua en la misma dirección) o contraflujo (flujo de aire y agua en direcciones opuestas), y puede incluir dos o más etapas si se desea.

La Figura 12 es una vista esquemática de componentes de un subsistema de compresor/expansor alternativo para el sistema de almacenamiento de energía de gas comprimido, con múltiples etapas de expansión, cada una asociada con un intercambiador de calor respectivo. En particular, durante una fase de expansión (por ejemplo, liberación), el aire comprimido liberado del acumulador 12 se transporta primero a través de un primer expansor 116a que acciona el generador 114a y luego a través de un primer intercambiador de calor 505a para intercambiar calor con agua 20 en el pozo 18, para así acondicionarse para ser aire A". Después de la primera etapa de expansión, el aire A" se transporta a continuación a través de un segundo expansor 116b que acciona el generador 114b y luego a través de un segundo intercambiador de calor 505b para intercambiar calor con el agua 20 en el pozo 18, para así acondicionarse para ser aire A'. Después de la segunda etapa de expansión, el aire A" se transporta a través de cualquier etapa de expansión adicional, incluidos los respectivos intercambiadores de calor. Un último intercambiador de calor se representa en este ejemplo como el intercambiador de calor 505x que permite que el aire A" intercambie calor con el agua 20 en el pozo 18 después de una "x-ésima" etapa de expansión, en concreto, pasar a través del expansor 116a que acciona el generador 114x, para así acondicionarse para que sea aire A' que luego se transporta fuera del sistema al ambiente A. Cabe señalar que, si bien en la Figura 12 se muestran tres etapas de compresión con intercambiadores de calor respectivos, se entenderá que un sistema de almacenamiento de energía de gas comprimido de acuerdo con esta realización de la invención puede tener solo dos o más de tres etapas de expansión con intercambiadores de calor respectivos.

La Figura 13 es una vista esquemática de componentes de un subsistema de compresor/expansor alternativo para el sistema de almacenamiento de energía de gas comprimido, con pares de etapas de compresión y expansión, cada una asociada con un intercambiador de calor respectivo. En esta realización, un intercambiador de calor común 504a, 504b, 504c, se usa durante las etapas de compresión y expansión para cada etapa de compresión/expansión, respectivamente, por ejemplo, dirigiendo el aire que se transporta al acumulador a través del intercambiador de calor y dirigiendo el aire que se transporta fuera del acumulador a través del intercambiador de calor. En cierto sentido, por lo tanto, los pares de etapas de compresión y expansión comparten un intercambiador de calor y el flujo de aire se controla usando válvulas V, como se muestra en la Figura.

La Figura 14 es una vista esquemática de los componentes del subsistema de compresor/expansor alternativo de la Figura 13, que muestra el flujo de aire durante una fase de expansión (liberación) desde el almacenamiento a través de múltiples expansores e intercambiadores de calor. En esta fase, a través del control de las válvulas V, el flujo de aire se dirige a través de múltiples etapas de expansión de una manera similar a la que se muestra en la Figura 12. 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.

La Figura 15 es una vista esquemática de los componentes del subsistema de compresor/expansor alternativo de la Figura 13, que muestra el flujo de aire durante una compresión (almacenamiento) desde el ambiente a través de múltiples compresores e intercambiadores de calor. En esta fase, a través del control de las válvulas V, el flujo de aire se dirige a través de múltiples etapas de compresión de una manera similar a la que se muestra en las Figuras 11A y 11B. 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.

Las diversas configuraciones para intercambiar más o menos calor descritas anteriormente pueden usarse en diversas combinaciones entre sí o con otras configuraciones para lograr una transferencia de calor deseada.

Asimismo, son posibles alternativas en las que el aire que se transporta del ambiente A al subsistema de compresor/expansor 100 puede dirigirse de vez en cuando, tal vez en vista de los cambios climáticos o las necesidades de la operación, para evitar cualquier intercambiador de calor que esté sumergido en el líquido dentro del pozo y, en su lugar, transportarse más directamente desde el ambiente al subsistema de compresor/expansor 100.

En realizaciones divulgadas en el presente documento, el sistema de almacenamiento de energía de gas comprimido funciona como isobárico o casi isobárico, por lo que un diferencial entre la presión ejercida por la cantidad de líquido dentro del eje hacia abajo en el mamparo y la presión ejercida por el gas comprimido dentro del acumulador hacia arriba en el mamparo se mantiene por debajo de un nivel umbral transportando gas comprimido entre el subsistema de compresor/expansor y la capa de gas y transportando líquido entre el pozo y la capa de líquido. Sin embargo, son posibles alternativas en las que el mamparo u otra estructura divisoria entre el acumulador y el eje sea fuerte y esté suficientemente fijado en su lugar de modo que el diferencial de presión pueda ser mayor.

Múltiples puntos de acceso de gas

Opcionalmente, las realizaciones del sistema de almacenamiento de energía de gas comprimido pueden configurarse para tener dos o más puntos de entrada/salida de gas. Por ejemplo, dos, tres o más conductos de suministro de gas 22 podrían estar asociados con un acumulador común 12, y podrían estar en comunicación con una capa de gas comprimido común 14. Preferiblemente, los dos o más conductos de suministro de gas pueden estar separados entre sí para proporcionar acceso a la capa de gas comprimido 14, y la energía almacenada en la misma, desde múltiples ubicaciones físicas en la superficie, tal como en diferentes áreas de una instalación industrial, barrio, ciudad, condado o similares (dependiendo del tamaño del acumulador subyacente 12, que puede tener varios kilómetros de longitud en algunos ejemplos). Esto puede ayudar a facilitar la conexión a una o más fuentes de alimentación y/o cargas de alimentación que están separadas entre sí, y puede ayudar a proporcionar acceso a la capa de gas comprimido 14 en una ubicación deseada que está próxima a donde se puede proporcionar la energía eléctrica para, o extraerse de, la red G.

Opcionalmente, uno o más de los conductos de suministro de gas 22 pueden estar separados del conducto de suministro/reabastecimiento de agua 58 y/o la fuente/sumidero de agua 150. Por ejemplo, en algunas circunstancias, la ubicación de la fuente/sumidero de agua 150 puede ser imposible o poco práctica de cambiar, tal como si la fuente/sumidero 150 fuera un lago natural como se muestra. Para ayudar a proporcionar el agua utilizada por el sistema, el conducto de suministro/reabastecimiento de agua 58 puede proporcionarse en un extremo del acumulador 12 que está físicamente cerca del lago, o de otra manera está bien adaptado para facilitar la transferencia de líquido entre el pozo 18 y el lago 150 (tal como cuando el flujo forma el lago de fuente/sumidero 150 en el pozo 18 es impulsado por la gravedad). Sin embargo, puede ser deseable proporcionar al menos un punto de entrada/salida de gas en otra parte del acumulador 12, que está cerca de una conexión a la red G y está relativamente lejos del lago 150. Como el agua dentro del acumulador 12, que forma la capa 16, puede tender a fluir relativamente libremente dentro del interior 23 del acumulador 12, puede ser razonable en la mayoría de las realizaciones utilizar un único pozo 18 y un conducto de suministro/reabastecimiento de agua 58 para proporcionar sustancialmente toda el agua requerida para todo el acumulador 12. Como alternativa, dos o más pozos 18 y conductos de suministro/reabastecimiento de agua asociados 58, pueden proporcionarse.

Opcionalmente, los componentes del subsistema de compresor/expansor 100 pueden colocarse juntos en la misma ubicación física, como se muestra en algunas de las realizaciones del presente documento. Como alternativa, los componentes del subsistema de compresor/expansor 100 pueden estar separados entre sí y proporcionarse en diferentes ubicaciones. Por ejemplo, el compresor 112 puede ubicarse en una ubicación (tal como en una región con aire relativamente limpio que es adecuado para aspirar para la compresión) y puede conectarse a la capa de gas 14 mediante un primer conducto de gas 22, mientras que el expansor 116 puede estar ubicado en otra ubicación (tal como en el interior de una ciudad y cerca de una conexión a la red) y puede estar conectado a la capa de gas 14 por un segundo conducto de gas separado 22. En algunas realizaciones, se pueden proporcionar múltiples compresores 112 y/o expansores 116 en múltiples ubicaciones diferentes, y cada uno puede conectarse a la capa de gas 14 a través de los conductos de gas 22 respectivos.

Por ejemplo, la Figura 25 es una representación esquemática de otra realización de un sistema de almacenamiento de energía de gas comprimido 10F, que es análogo a los otros sistemas de almacenamiento de energía de gas comprimido descritos en el presente documento, y que incluye tres conductos de suministro de gas separados 22 que están en comunicación con un acumulador común 12. En este ejemplo, uno de los conductos de suministro de gas 22 (a la derecha como se ilustra) se proporciona dentro del pozo 18 y cerca del conducto de suministro/reabastecimiento de agua 58, mientras que los otros dos conductos de suministro de gas 22 están separados entre sí y no pasan a través del pozo 18.

La Figura 26 es una representación esquemática de otra realización de un sistema de almacenamiento de energía de gas comprimido 10G, que es análogo a los otros sistemas de almacenamiento de energía de gas comprimido descritos

5 en el presente documento, y en el que los componentes del subsistema de compresor/expansor 100 están separados y distribuidos a través de la superficie. En este ejemplo, un compresor 112 y equipo asociado, se proporciona cerca del pozo 18, y el gas comprimido se fuerza hacia abajo por el conducto de suministro de gas asociado 22 y hacia la capa de gas 14. Cada uno de los otros dos conductos de gas 22 está conectado a un respectivo expansor 116 para extraer gas de la capa de gas 14. En este ejemplo, el gas se suministra al acumulador a través de un conducto de gas 22 y se extrae a través de otros conductos 22. En algunas realizaciones, se puede proporcionar un conducto de gas 22 y un expansor 116 en cada ubicación donde sería deseable extraer energía y/o conectarse a la red G (tal como proporcionar un conducto de gas 22 y un expansor 116 para cada edificio que requiera energía, etc.), sin necesidad de proporcionar múltiples compresores 112 y aspirar aire desde múltiples ubicaciones. En dichos ejemplos, la capacidad del compresor 112 (o múltiples compresores/etapas en una ubicación dada) puede ser mayor que la capacidad de uno cualquiera de los múltiples expansores 116 proporcionados. Opcionalmente, cada compresor 112 y/o expansor 116 puede operarse independientemente.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema de almacenamiento de energía de gas comprimido (10) que comprende:

- 5 a) un acumulador (12) que tiene una abertura primaria (27), una pared superior (13), una pared inferior (15) y un interior (23) del acumulador limitado al menos parcialmente por la pared superior y la pared inferior, el acumulador destinado para contener una capa (14) de gas comprimido encima de una capa de líquido (16) cuando está en uso;
- 10 b) un subsistema de compresor/expansor de gas (100) separado del acumulador;
- c) un conducto de gas (22) que tiene un extremo superior (60) en comunicación con el subsistema de compresor/expansor de gas y un extremo inferior (62) en comunicación con el interior del acumulador para transportar gas comprimido a la capa de gas comprimido;
- d) un pozo (18) que tiene un extremo inferior (43) adyacente a la abertura primaria, un extremo superior (48) separado del extremo inferior, y una pared lateral de pozo (52) que se extiende hacia arriba desde el extremo inferior hasta el extremo superior y que limita al menos parcialmente un interior de pozo (54) que contiene una cantidad de líquido (20), pudiendo conectarse el pozo de manera fluida a una fuente/sumidero de líquido (150) a través de un conducto de suministro de líquido (58);
- 15 e) un conducto de líquido (40) que proporciona una comunicación fluida entre el líquido en el interior del pozo y la capa de líquido en el acumulador, por lo que el líquido puede fluir entre el interior del pozo y la capa de líquido en el acumulador en respuesta a cambios en la presión de la capa de gas comprimido;
- 20 f) un subsistema de almacenamiento térmico (120) proporcionado en comunicación fluida entre el subsistema de compresor/expansor de gas y el acumulador, incluyendo el aparato de almacenamiento térmico un aparato de almacenamiento sensible (L) que usa un fluido de almacenamiento sensible que comprende agua, por lo que la energía térmica se extrae del gas comprimido que sale del subsistema de compresor/expansor de gas a una temperatura de salida y almacenarse en el subsistema de almacenamiento térmico de manera que la temperatura del gas que sale del subsistema de almacenamiento térmico se reduce a una temperatura de almacenamiento que es menor que la temperatura de salida, y el agua en el aparato de almacenamiento sensible se calienta a una temperatura de almacenamiento de 100 grados Celsius o más y se mantiene a una presión operativa que es suficiente para mantener generalmente el agua en su fase líquida durante el uso;
- 25 g) un tabique (24) colocado en el extremo inferior del pozo y que cubre la abertura primaria y separa el interior del acumulador del interior del pozo, teniendo el tabique una superficie exterior (31) en comunicación con el interior del pozo y una superficie interior opuesta (29) en comunicación con el interior del acumulador;

35 en donde al menos una de la capa de gas comprimido y la capa de líquido se apoya contra y ejerce 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 es menor que la fuerza del acumulador.

40 2. El sistema de almacenamiento de energía de gas comprimido de la reivindicación 1, en donde, durante un proceso de expansión, el gas que sale del acumulador pasa a través del subsistema de almacenamiento térmico 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 se vuelve a introducir 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.

50 3. El sistema de almacenamiento de energía de gas comprimido de las reivindicaciones 1 o 2, en donde el subsistema de compresor/expansor de gas comprende una primera etapa de compresión (112a) y al menos una segunda etapa de compresión (112b) aguas abajo de la primera etapa de compresión, y en donde el subsistema de almacenamiento térmico comprende una primera etapa de almacenamiento térmico (120a) en comunicación fluida entre la primera etapa de compresión y la segunda etapa de compresión, y una segunda etapa de almacenamiento térmico (120b) en comunicación fluida con la segunda etapa de compresión y la capa de gas en el acumulador.

55 4. El sistema de almacenamiento de energía de gas comprimido de una de las reivindicaciones 1 a 3, en donde el subsistema de compresor/expansor de gas comprende una primera etapa de expansión (116a) y al menos una segunda etapa de expansión (116b) aguas abajo de la primera etapa de expansión, y en donde el subsistema de almacenamiento térmico comprende una tercera etapa de almacenamiento térmico (505a) en comunicación fluida entre la capa de gas en el acumulador y la primera etapa de expansión, y una cuarta etapa de almacenamiento térmico (505b) en comunicación fluida entre la primera etapa de expansión y la segunda expansión.

60 5. El sistema de almacenamiento de energía de gas comprimido de la reivindicación 1, en donde un primer extremo (66) del conducto de líquido está próximo a la superficie exterior del tabique y está en comunicación fluida con el pozo.

65 6. El sistema de almacenamiento de energía de gas comprimido de la reivindicación 1, en donde el conducto de líquido pasa a través del tabique.

7. El sistema de almacenamiento de energía de gas comprimido de la reivindicación 1, en donde un segundo extremo (64) del conducto de líquido está sumergido en la capa de líquido y permanece aislado de manera fluida de la capa de gas cuando el sistema de almacenamiento de energía de gas comprimido está en uso.
- 5 8. El sistema de almacenamiento de energía de gas comprimido de la reivindicación 1, en donde una diferencia de presión a través del tabique está entre aproximadamente 0,30 bar (0,3 atm) y aproximadamente 6,08 bar (6 atm) cuando el sistema de almacenamiento de energía de gas comprimido está en uso.
- 10 9. El sistema de almacenamiento de energía de gas comprimido de la reivindicación 1, en donde el subsistema de compresor/expansor comprende:
- a) un compresor de gas (112) con al menos una primera etapa de compresión (112a) configurada para aspirar aire (A) desde una fuente de aire, comprimir el aire y transportar el aire comprimido a la capa de gas comprimido a través del conducto de gas;
- 15 b) un expansor de gas (116) con al menos una primera etapa de expansión; y
- c) un primer generador eléctrico (114) accionado por el expansor de gas para recibir aire comprimido de la capa de gas comprimido del acumulador y generar electricidad a partir de la expansión del aire comprimido.
- 20 10. El sistema de almacenamiento de energía de gas comprimido de la reivindicación 9, en donde la fuente de aire comprende la atmósfera ambiente (A).
11. El sistema de almacenamiento de energía de gas comprimido de la reivindicación 1, en donde el conducto de suministro de gas es externo al pozo.
- 25 12. El almacenamiento de energía de gas comprimido de la reivindicación 1, en donde el conducto de líquido pasa por debajo del tabique.
13. El sistema de almacenamiento de energía de gas comprimido de la reivindicación 1, en donde el acumulador está al menos parcialmente enterrado bajo tierra (200), y en donde el extremo superior del pozo está por encima del suelo.
- 30 14. El sistema de almacenamiento de energía de gas comprimido de la reivindicación 1, que comprende además una válvula de control de flujo (59) dispuesta en el conducto de suministro de líquido, pudiendo la válvula de control de flujo moverse a una posición cerrada en la que se interrumpe la comunicación fluida entre el pozo y la fuente de líquido.
- 35 15. El sistema de almacenamiento de energía de gas comprimido de la reivindicación 1, en donde el tabique comprende un mamparo (24) colocado para sellar la abertura primaria.
16. El sistema de almacenamiento de energía de gas comprimido de la reivindicación 15, en donde el tabique está hecho, al menos parcialmente, de al menos uno de hormigón, piedra, metal, material compuesto y plástico.
- 40 17. El sistema de almacenamiento de energía de gas comprimido de la reivindicación 1, en donde el acumulador está al menos parcialmente enterrado bajo tierra y el tabique está constituido al menos parcialmente por el suelo.
18. El sistema de almacenamiento de energía de gas comprimido de la reivindicación 1, en donde el subsistema de almacenamiento térmico comprende un aparato de almacenamiento térmico de múltiples etapas.
- 45 19. El sistema de almacenamiento de energía de gas comprimido de la reivindicación 1, en donde el subsistema de almacenamiento térmico está dispuesto dentro de una cámara presurizada (140).
- 50 20. El sistema de almacenamiento de energía de gas comprimido de la reivindicación 1, en donde el subsistema de compresor/expansor comprende una primera etapa de compresión (112a), al menos una segunda etapa de compresión (112b) aguas abajo de la primera etapa de compresión, una primera etapa de expansión (116a) y al menos una segunda etapa de expansión (116b) aguas abajo de la primera etapa de expansión, y en donde el subsistema de almacenamiento térmico comprende una primera etapa de almacenamiento térmico (120a) que está en comunicación fluida entre la primera etapa de compresión y la segunda etapa de compresión y que está en comunicación fluida entre la primera etapa de expansión y la segunda etapa de expansión.
- 55 21. El sistema de almacenamiento de energía de gas comprimido de la reivindicación 20, en donde el subsistema de almacenamiento térmico comprende una segunda etapa de almacenamiento térmico (120b) que está en comunicación fluida entre la segunda etapa de compresión y el acumulador y que está en comunicación fluida entre el acumulador y la primera etapa de expansión.
- 60 22. El sistema de almacenamiento de energía de gas comprimido de la reivindicación 1, en donde el subsistema de almacenamiento térmico comprende al menos un tanque dispuesto sobre el suelo y que contiene el agua presurizada.
- 65

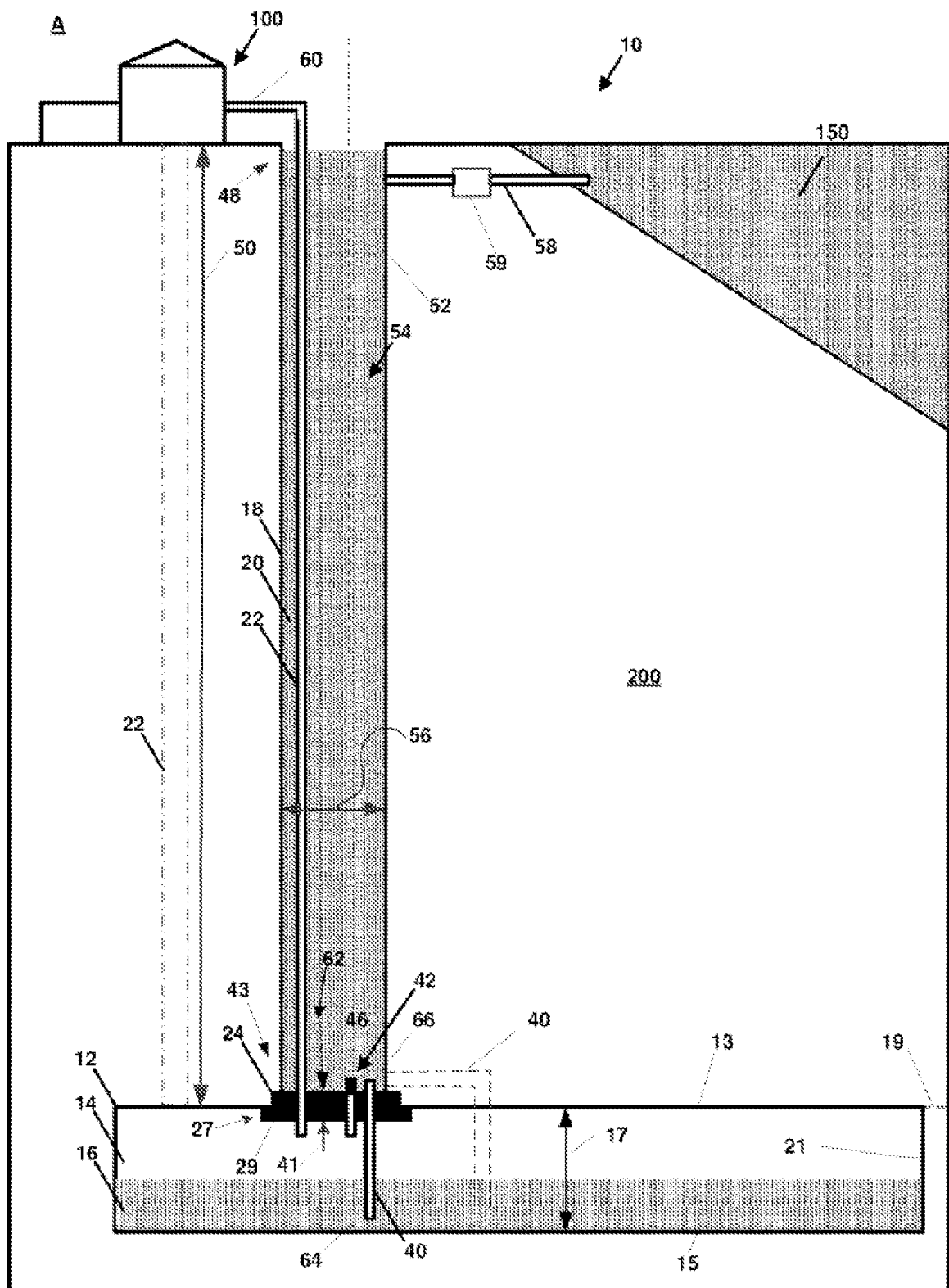


Figura 1

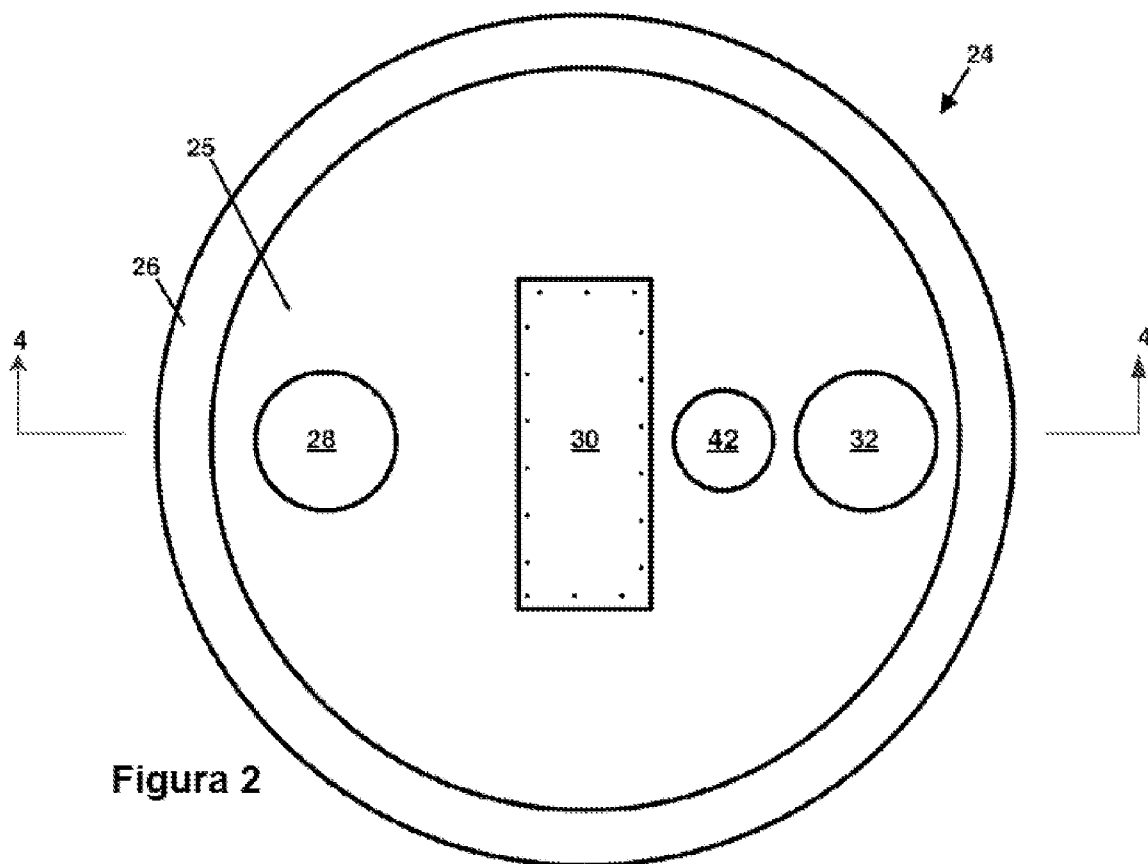


Figura 2

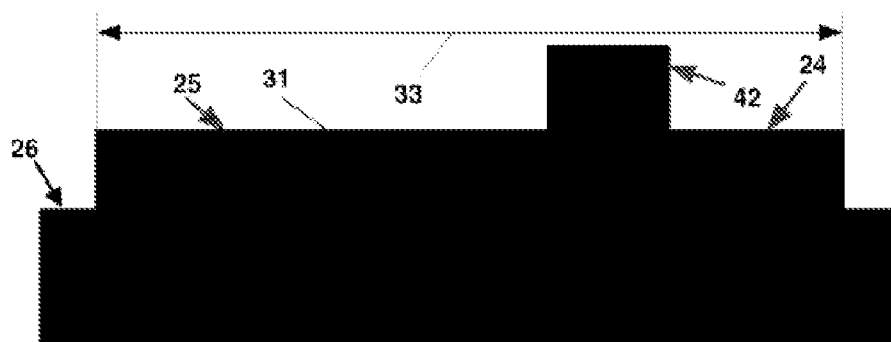


Figura 3

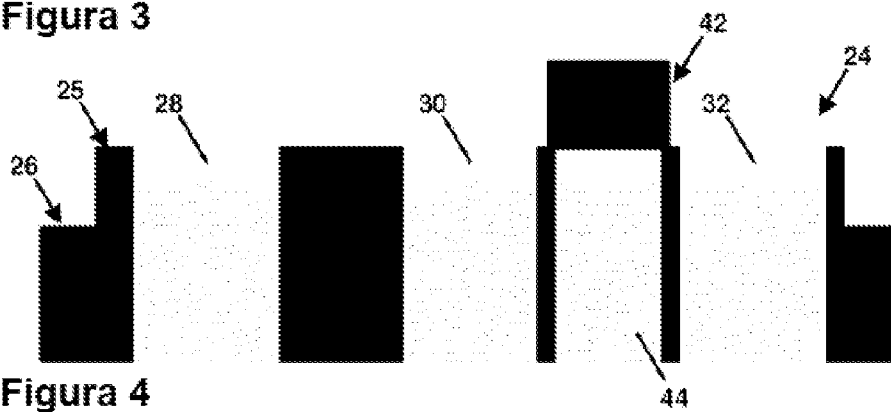


Figura 4

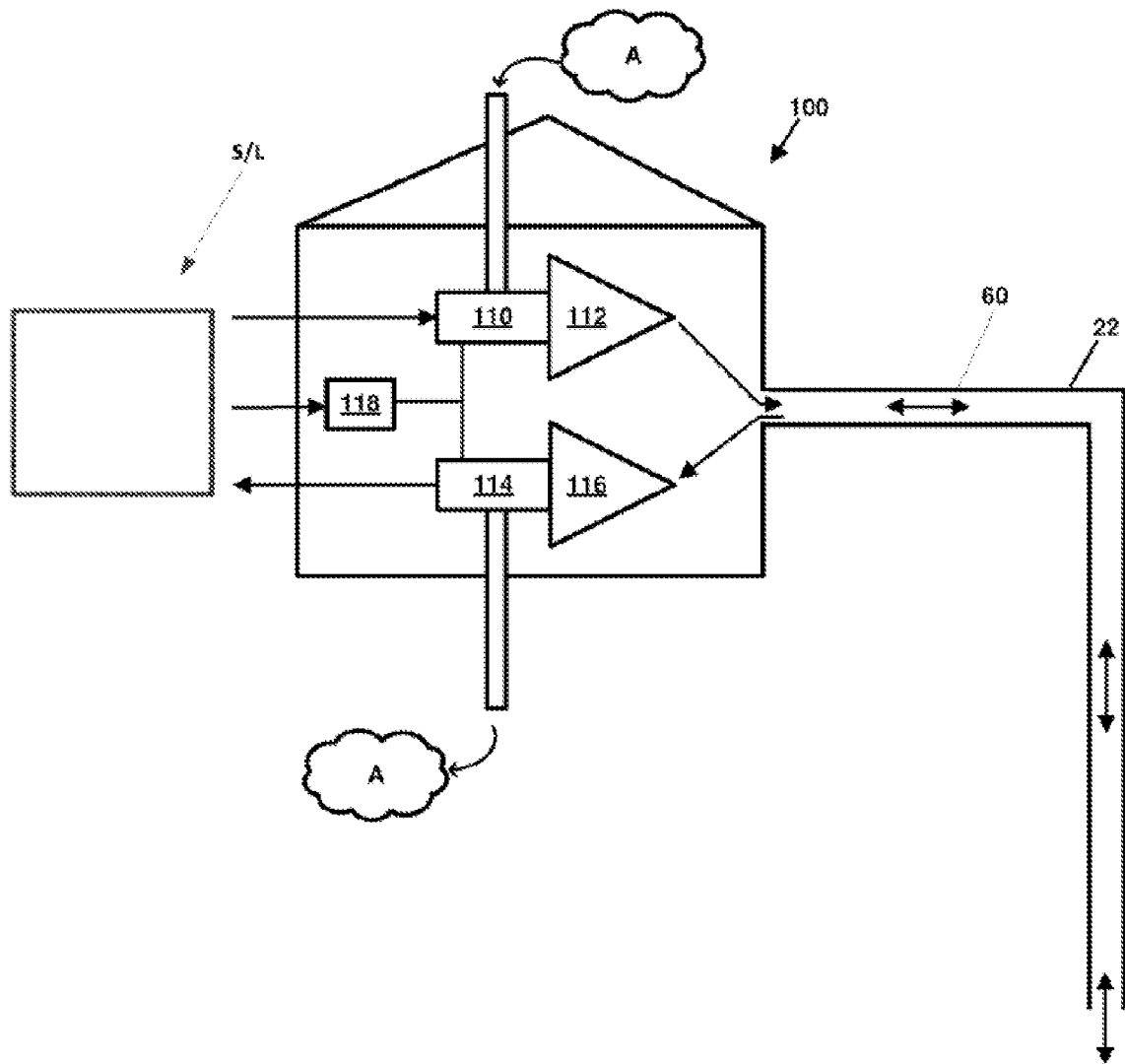


Figura 5

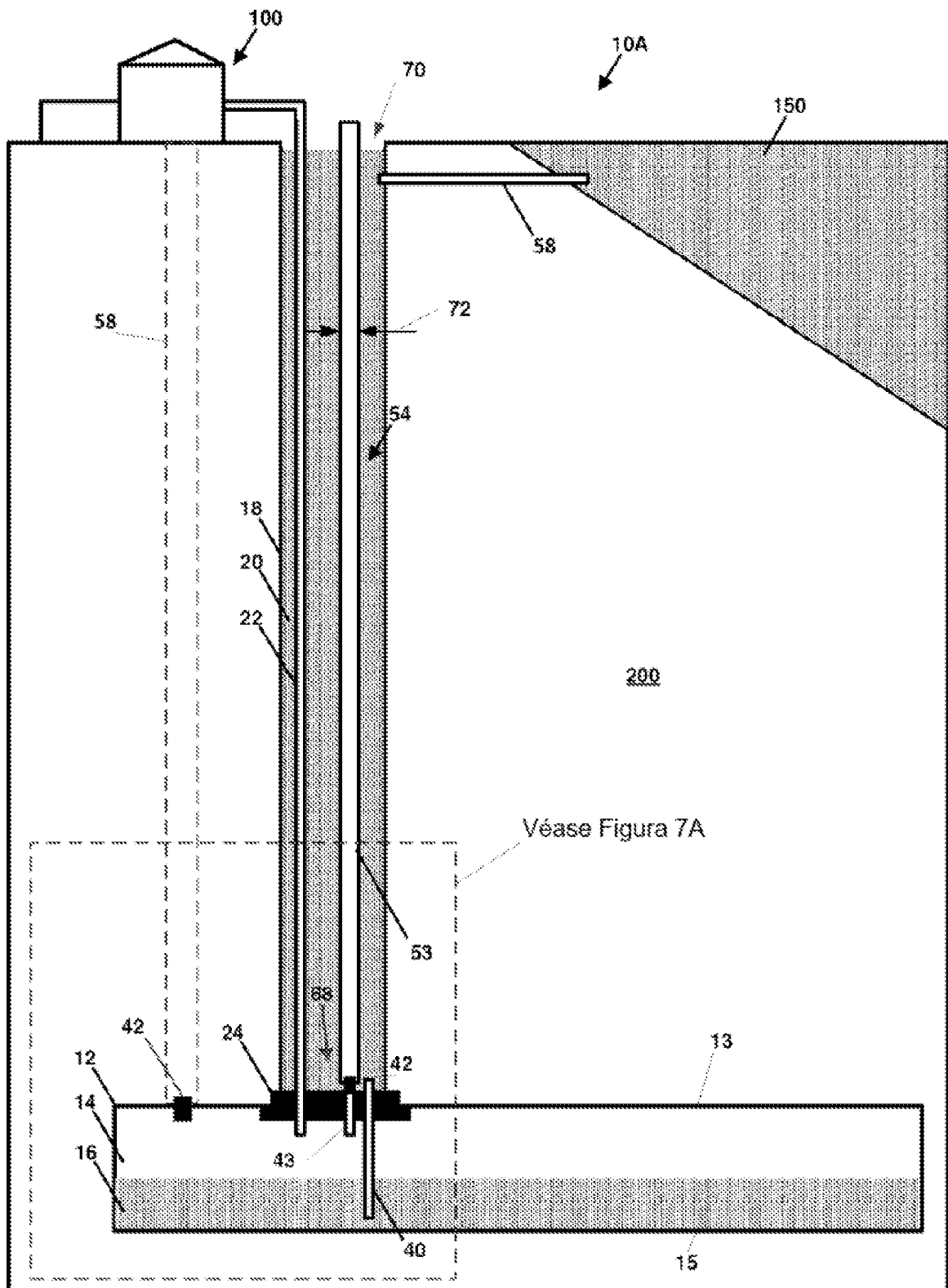


Figura 6A

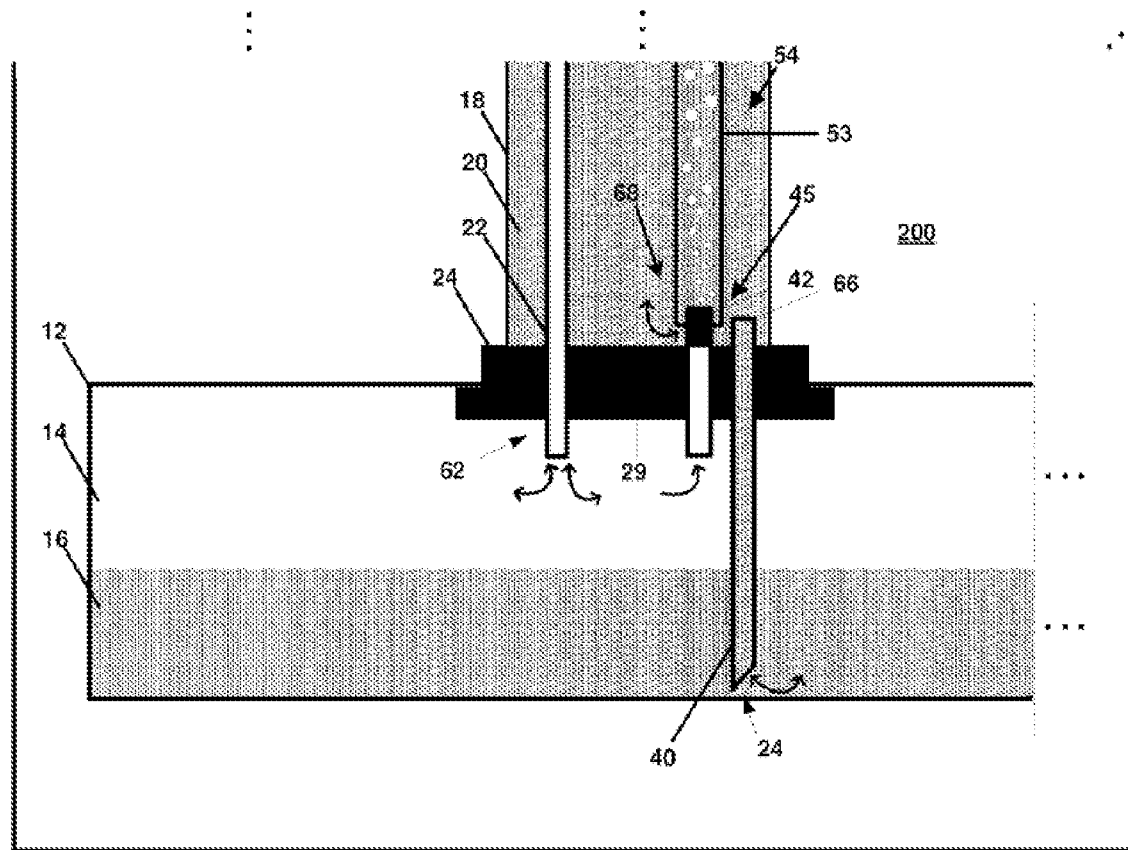


Figura 7A

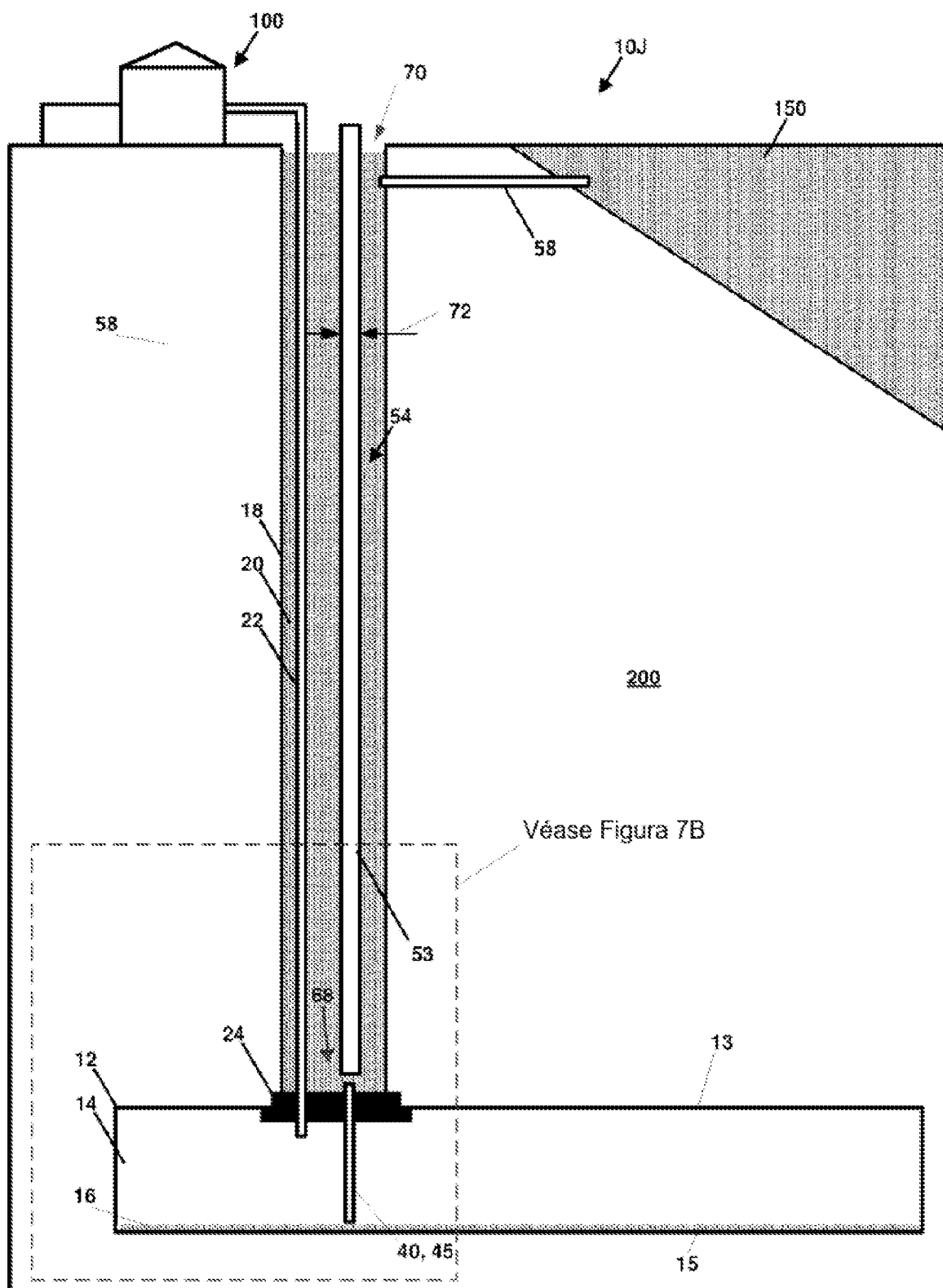


Figura 6B

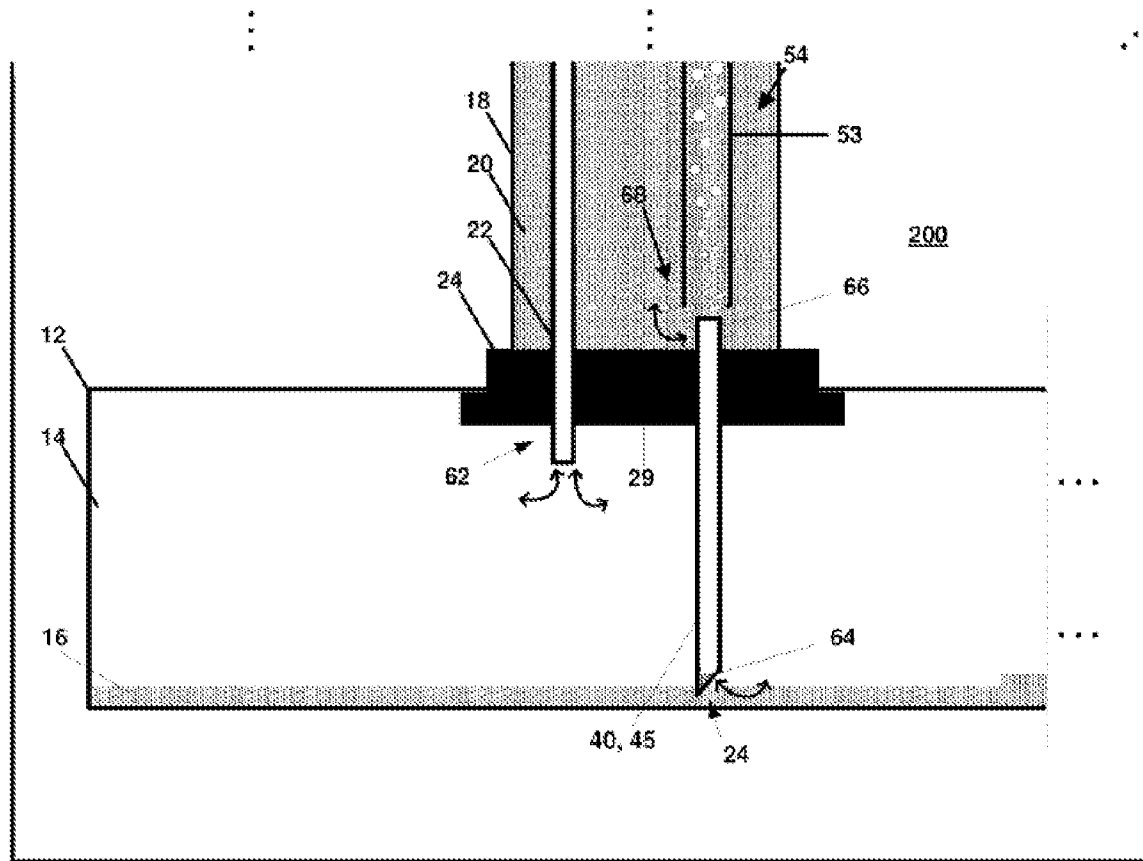


Figura 7B

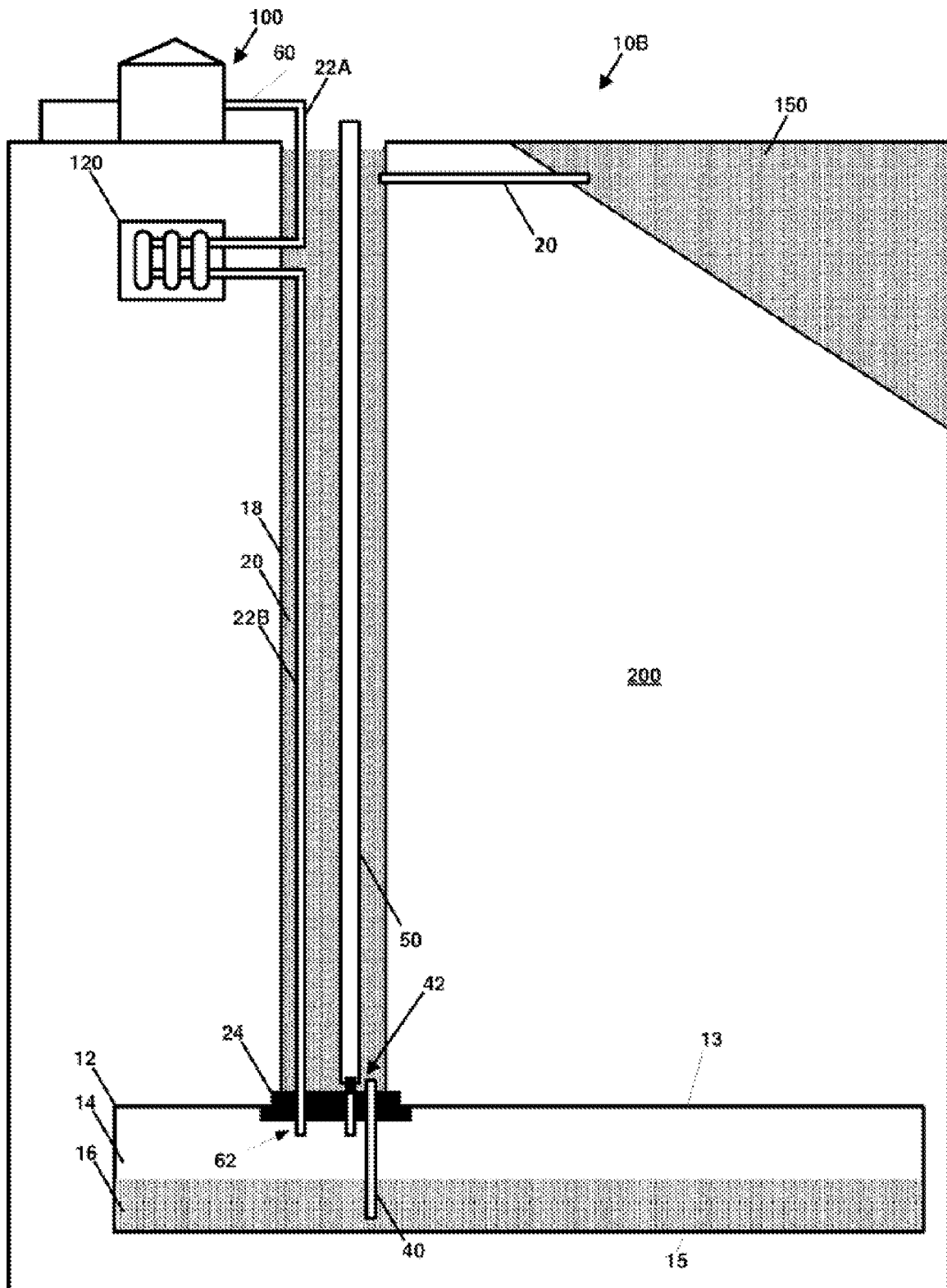


Figura 8

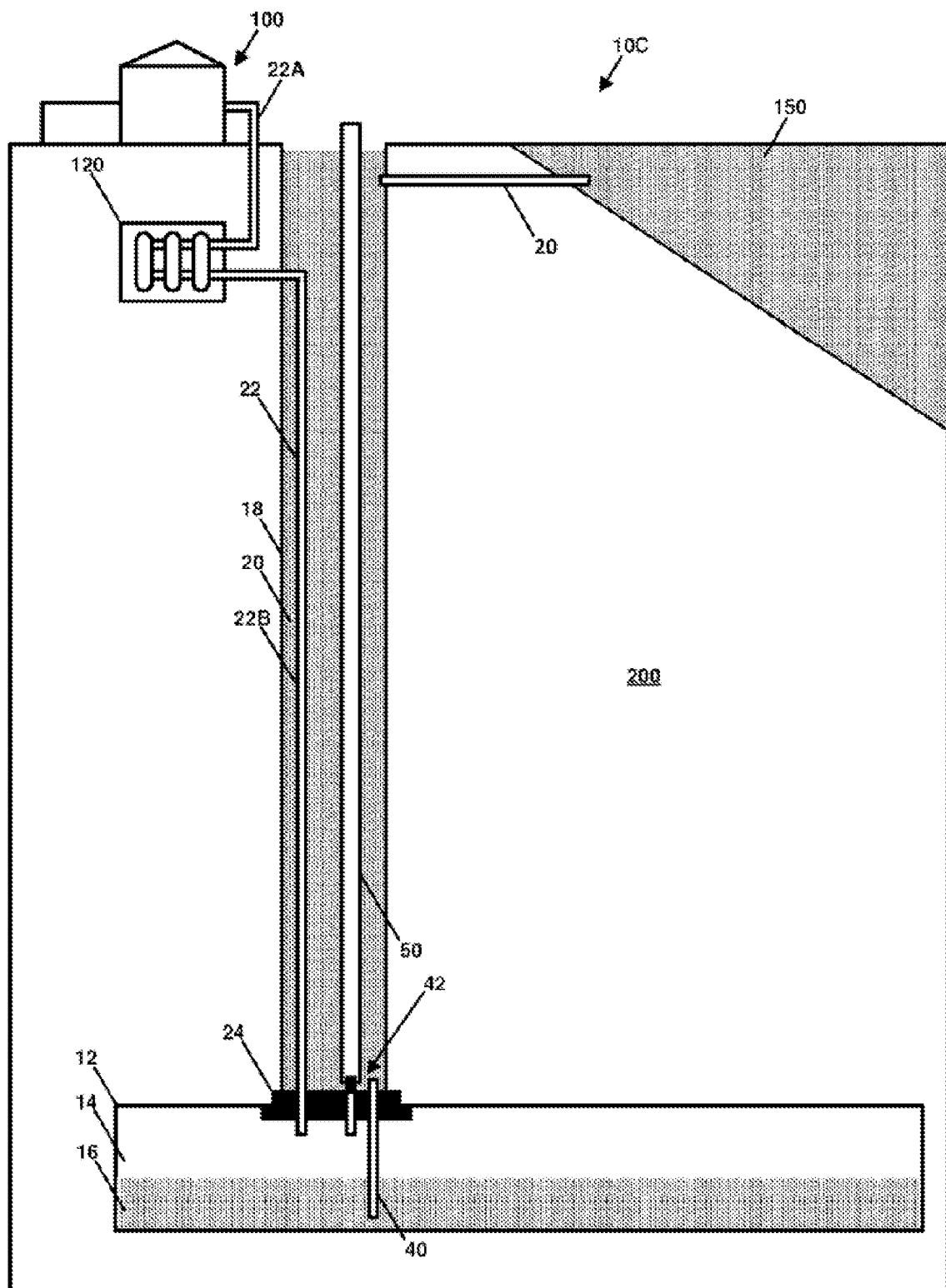


Figura 9

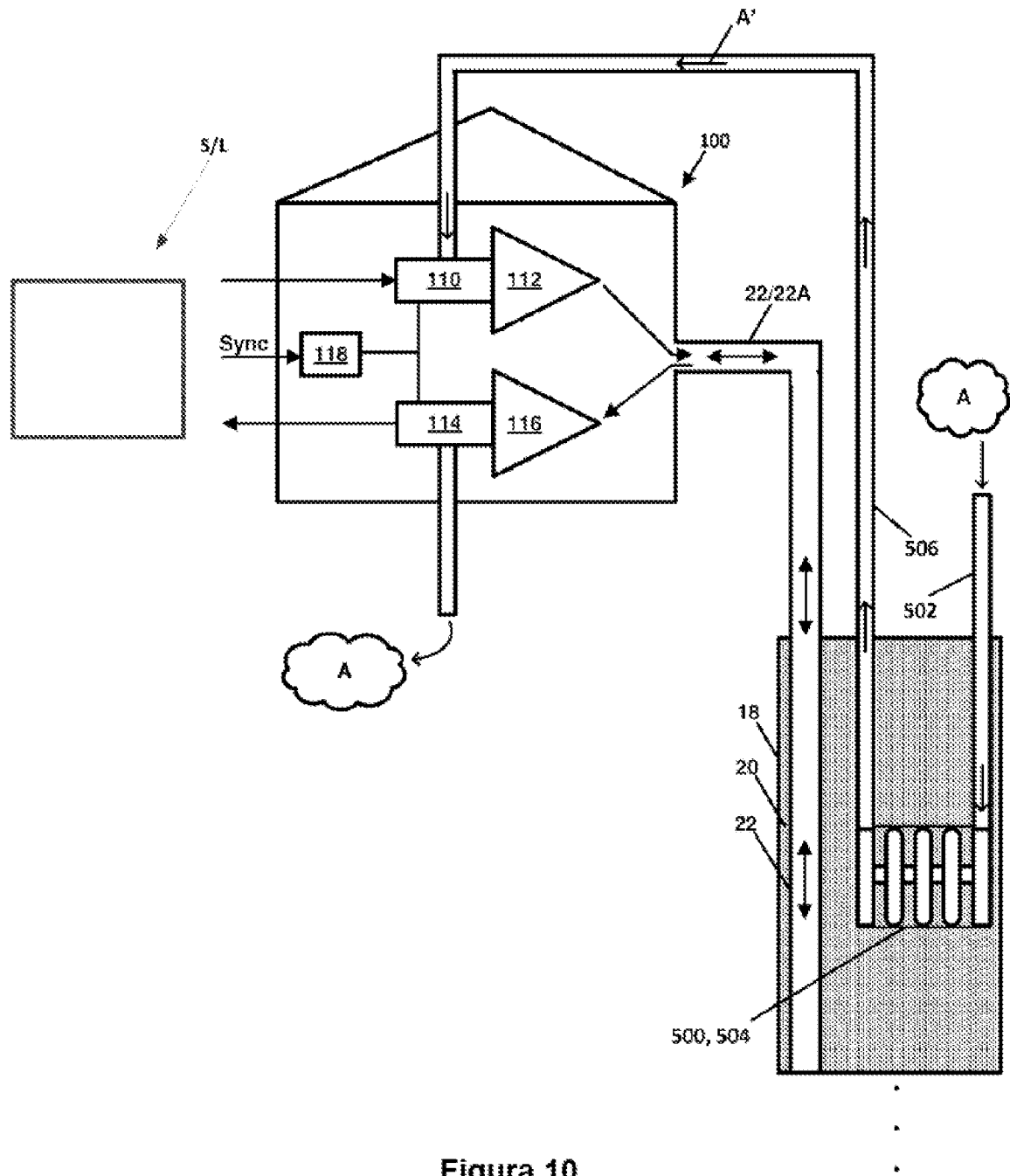


Figura 10

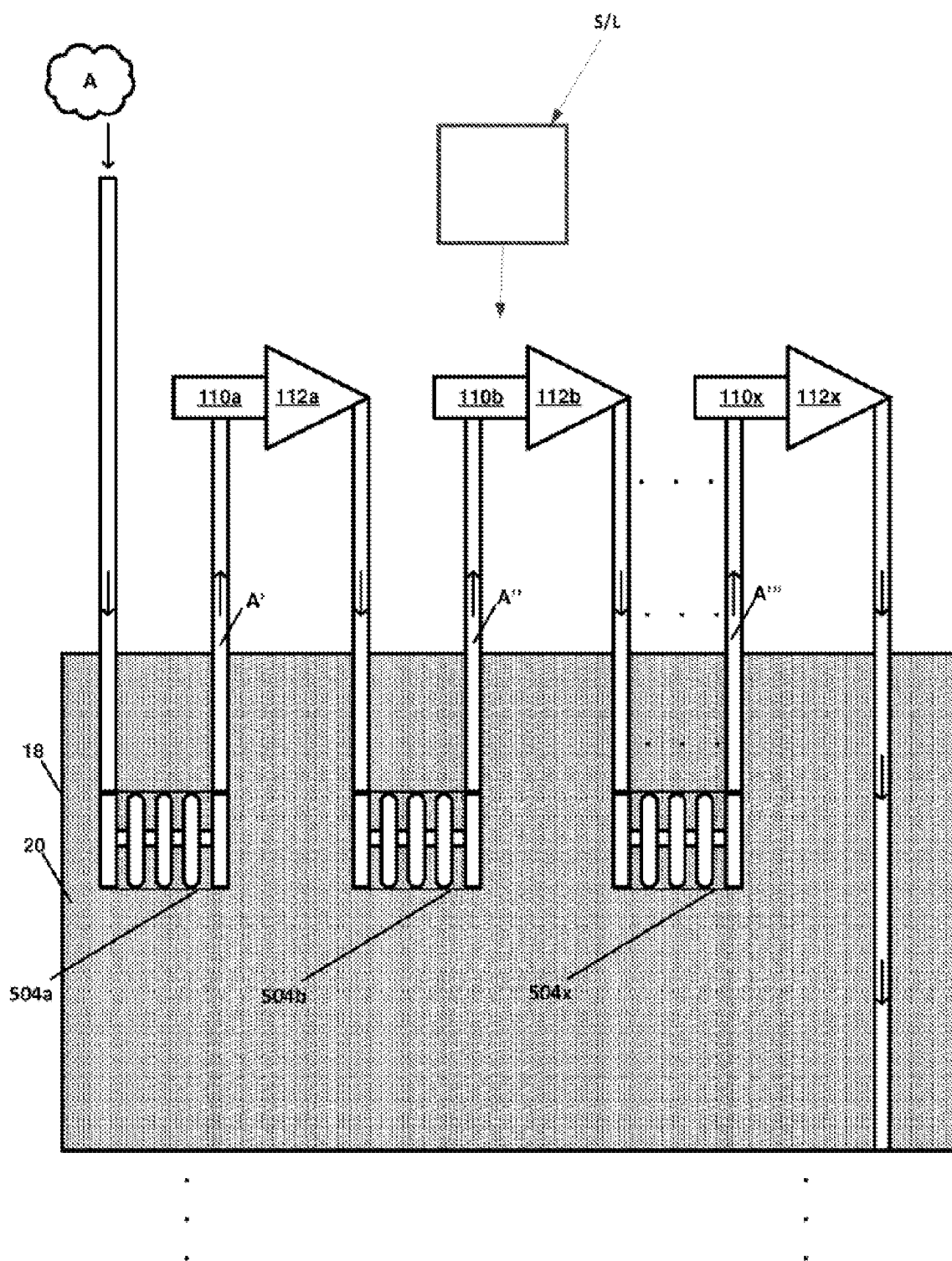


Figura 11A

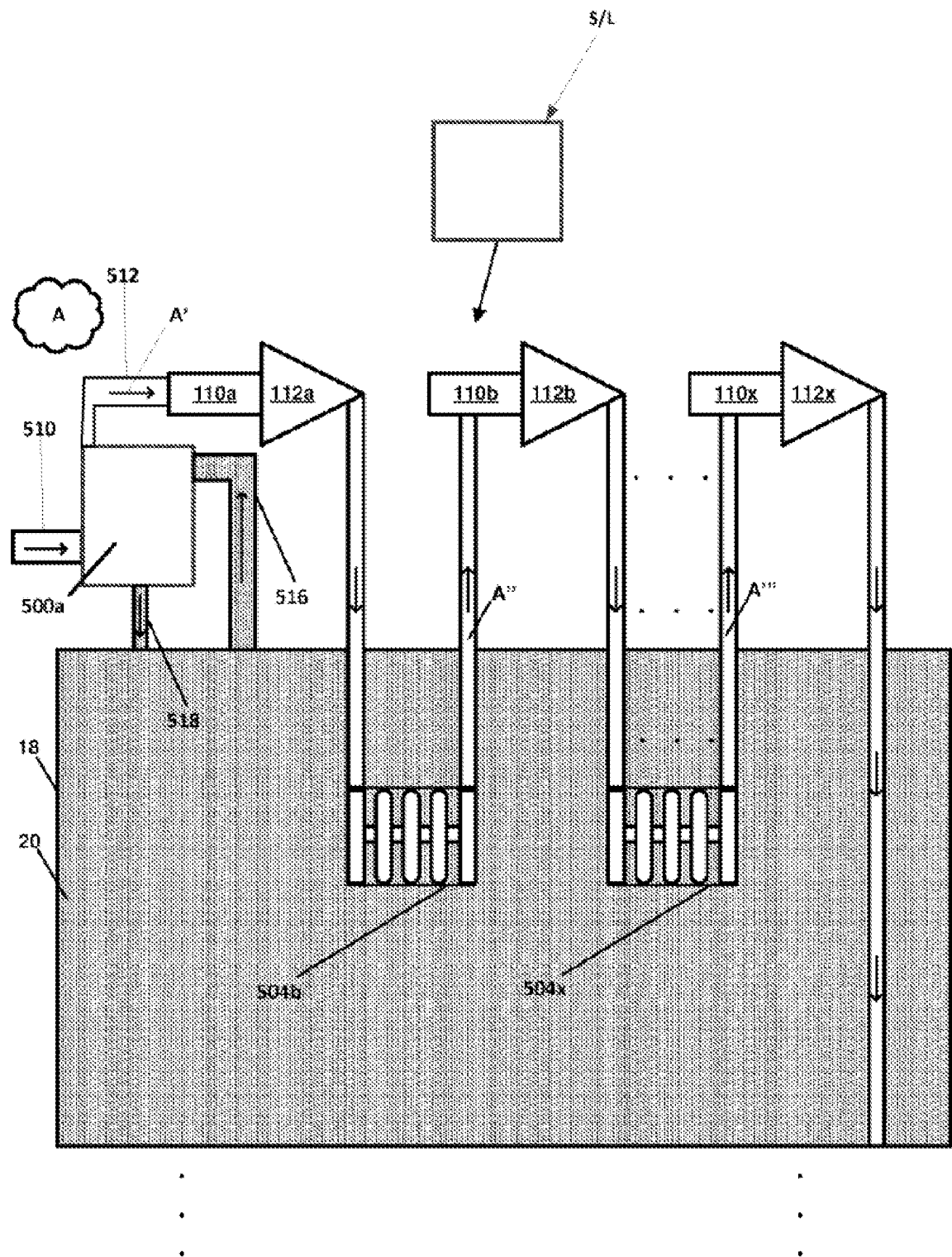


Figura 11B

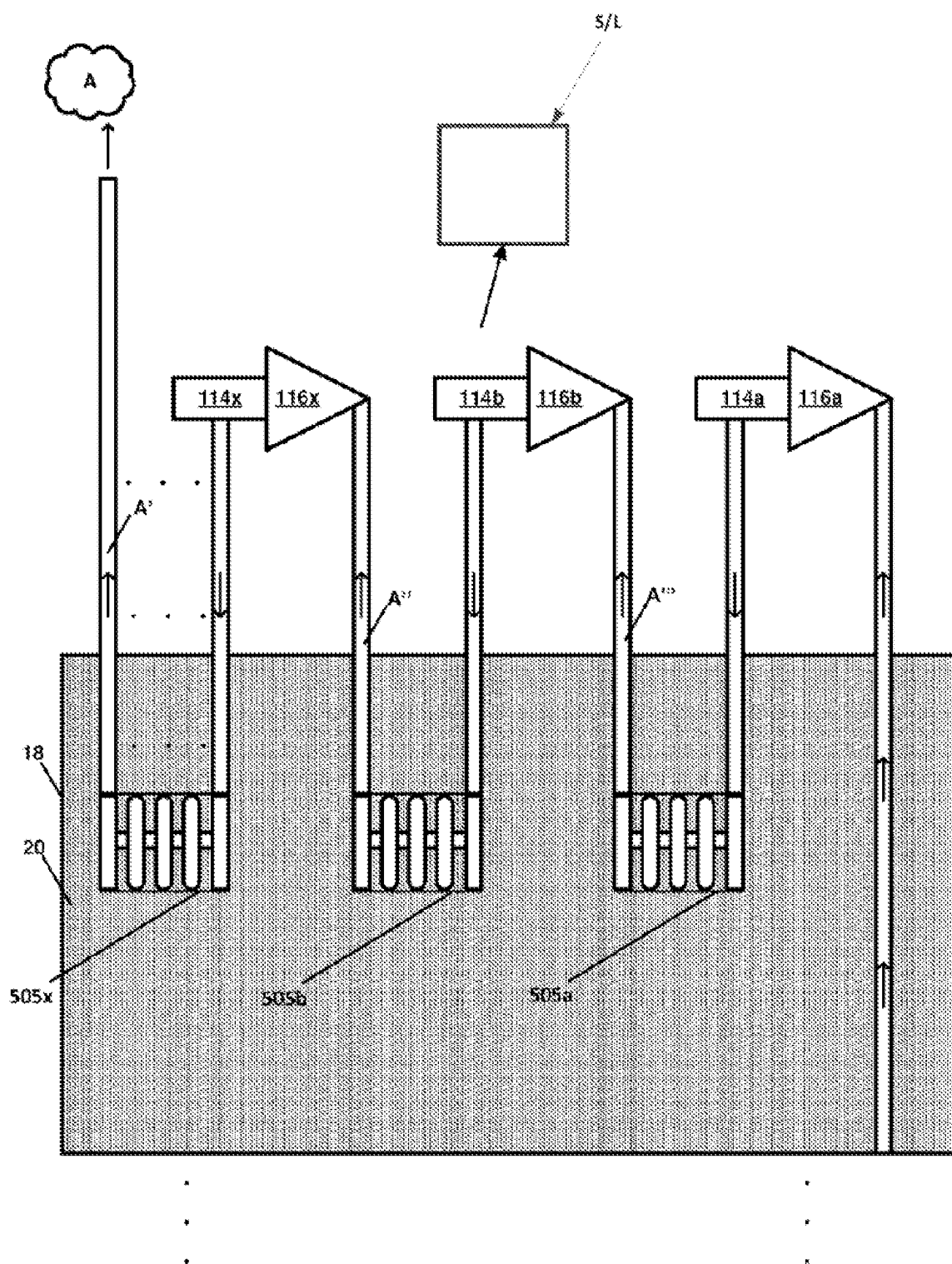


Figura 12

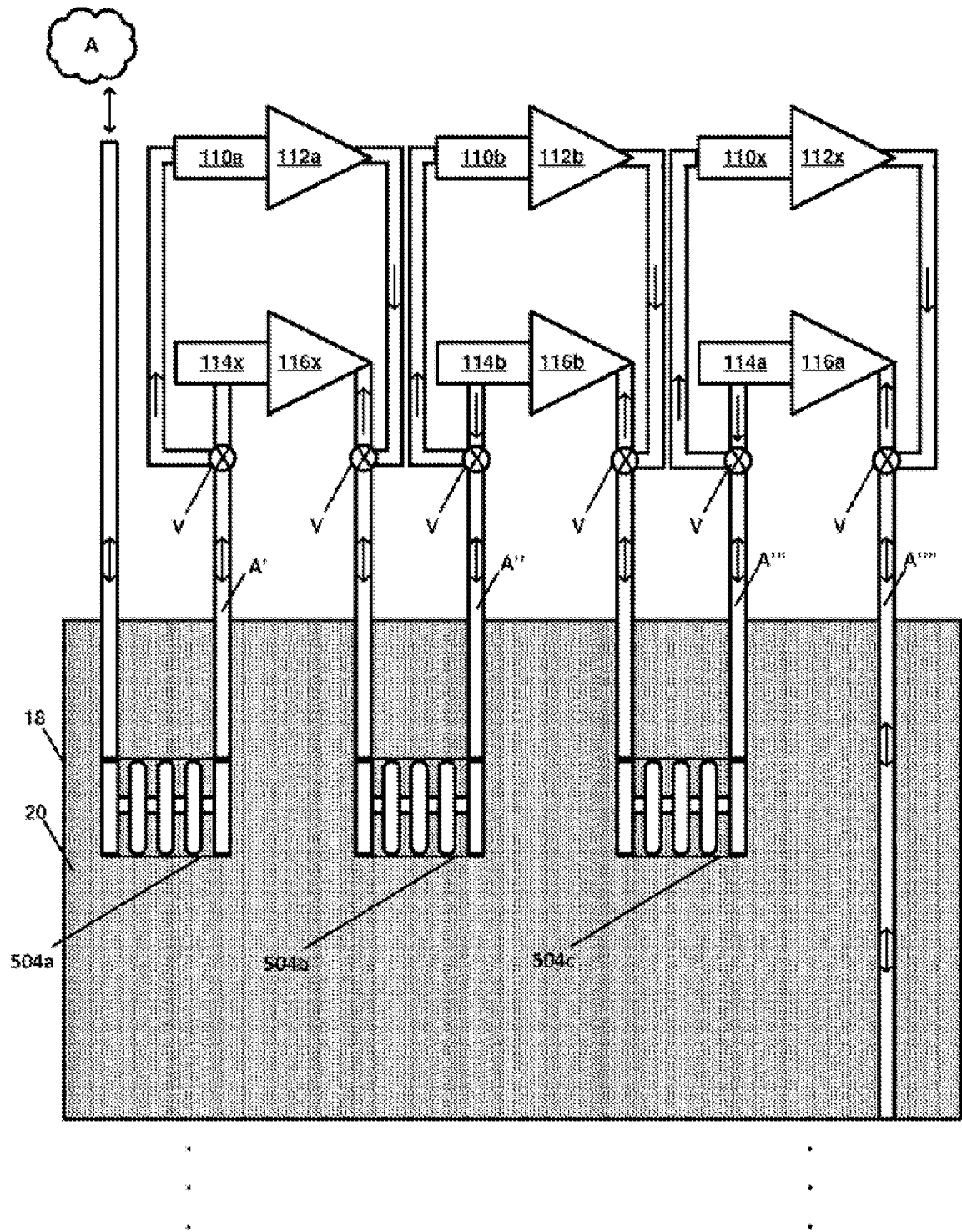


Figura 13

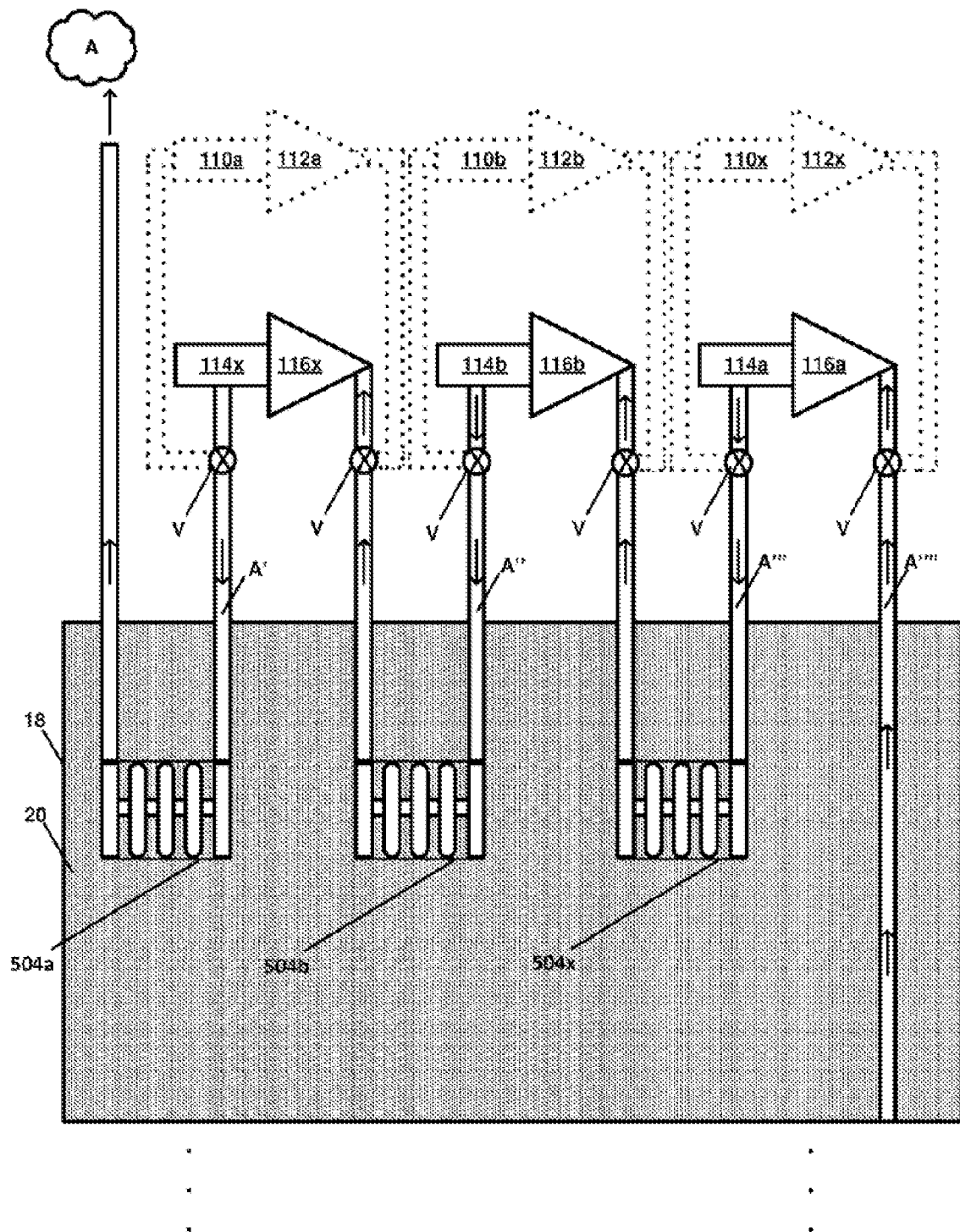


Figura 14

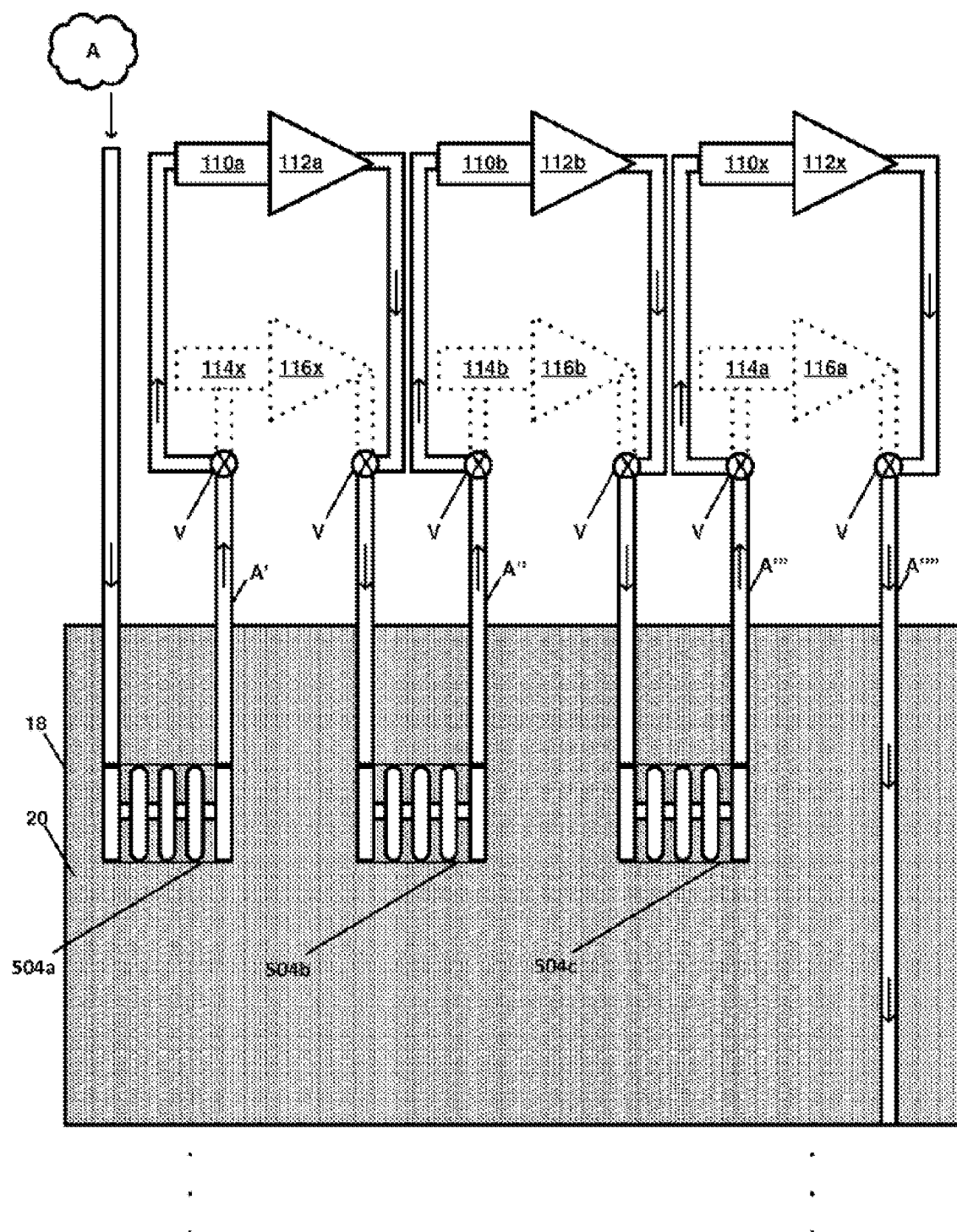
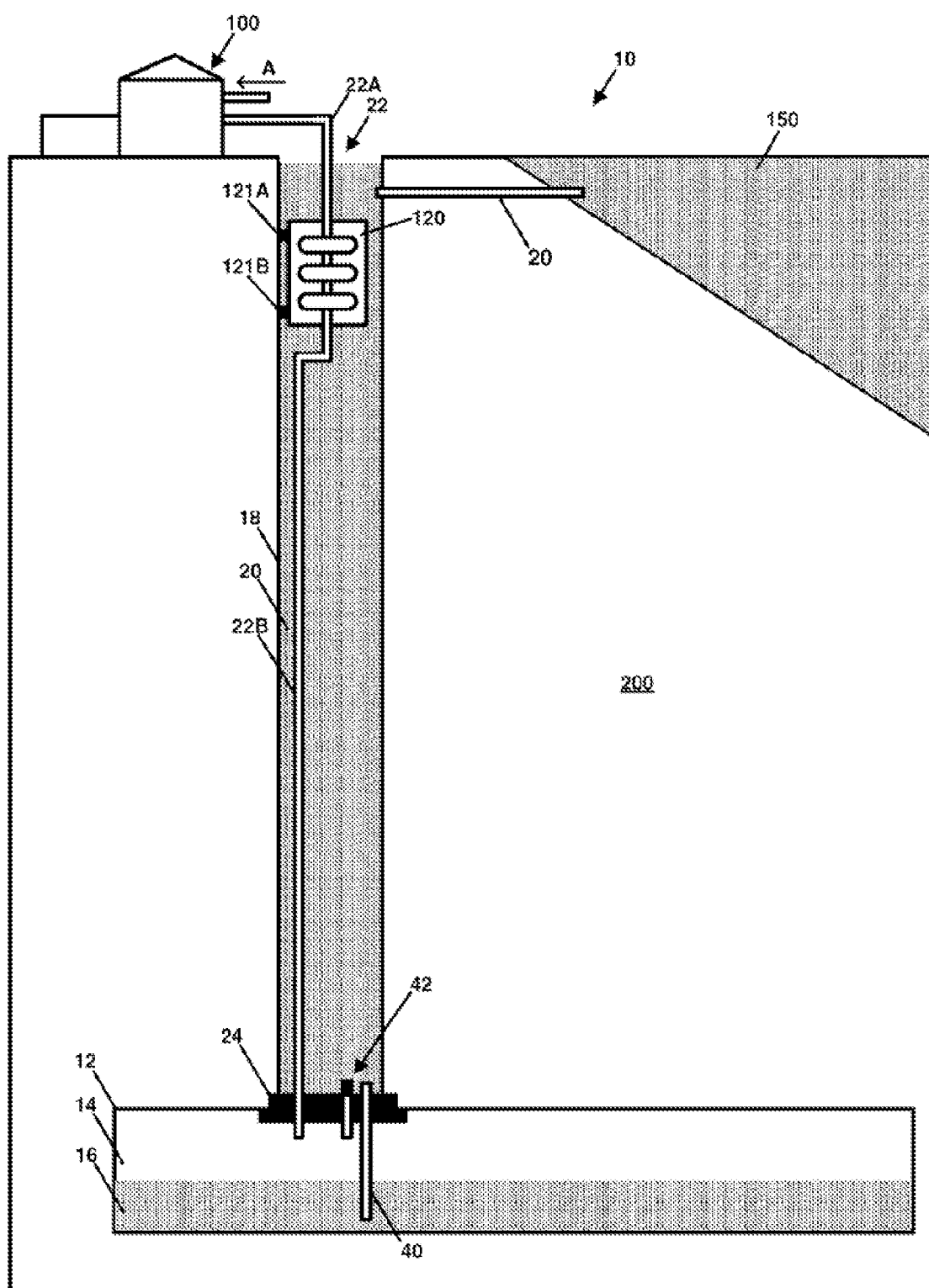


Figura 15

**Figura 16**

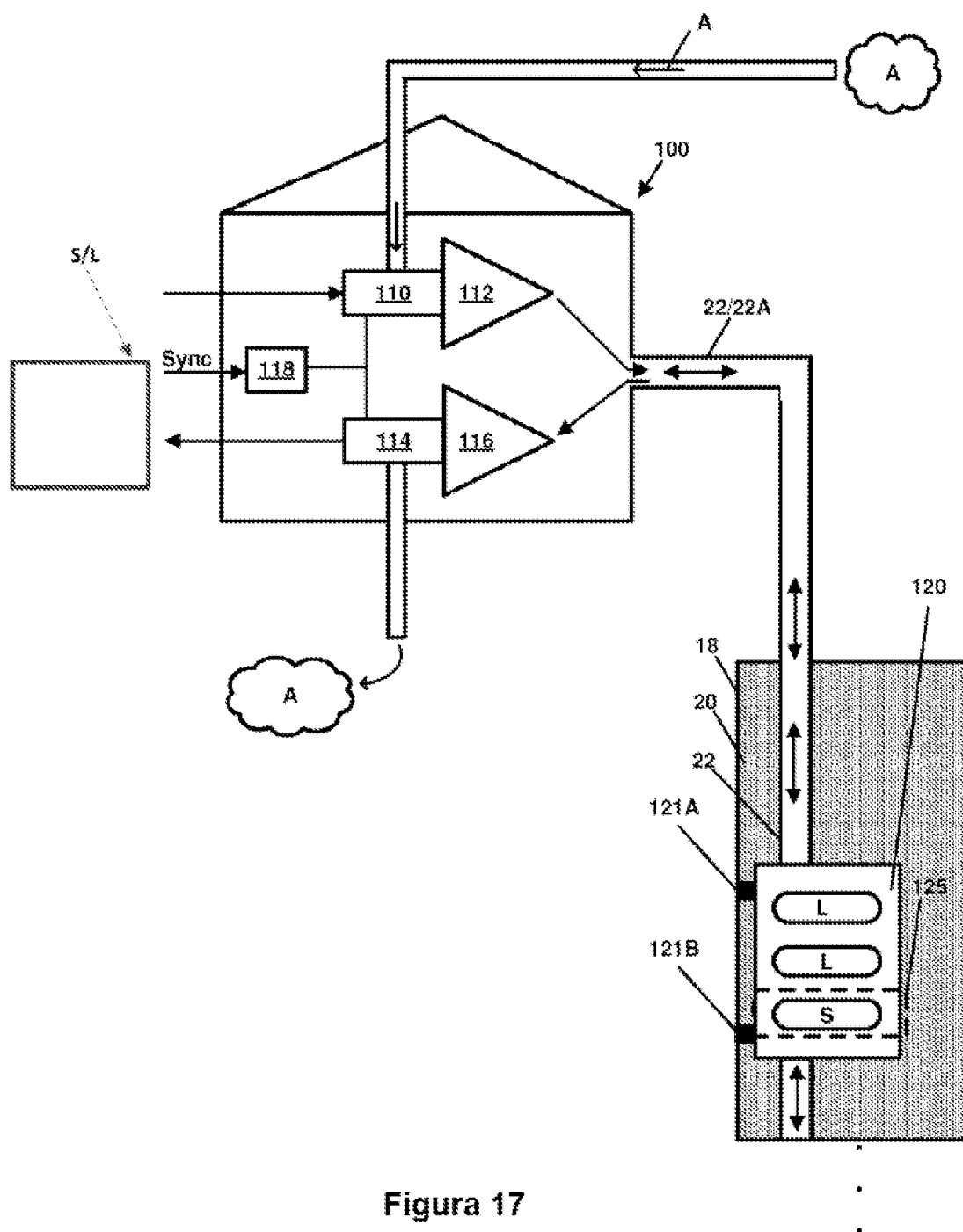


Figura 17

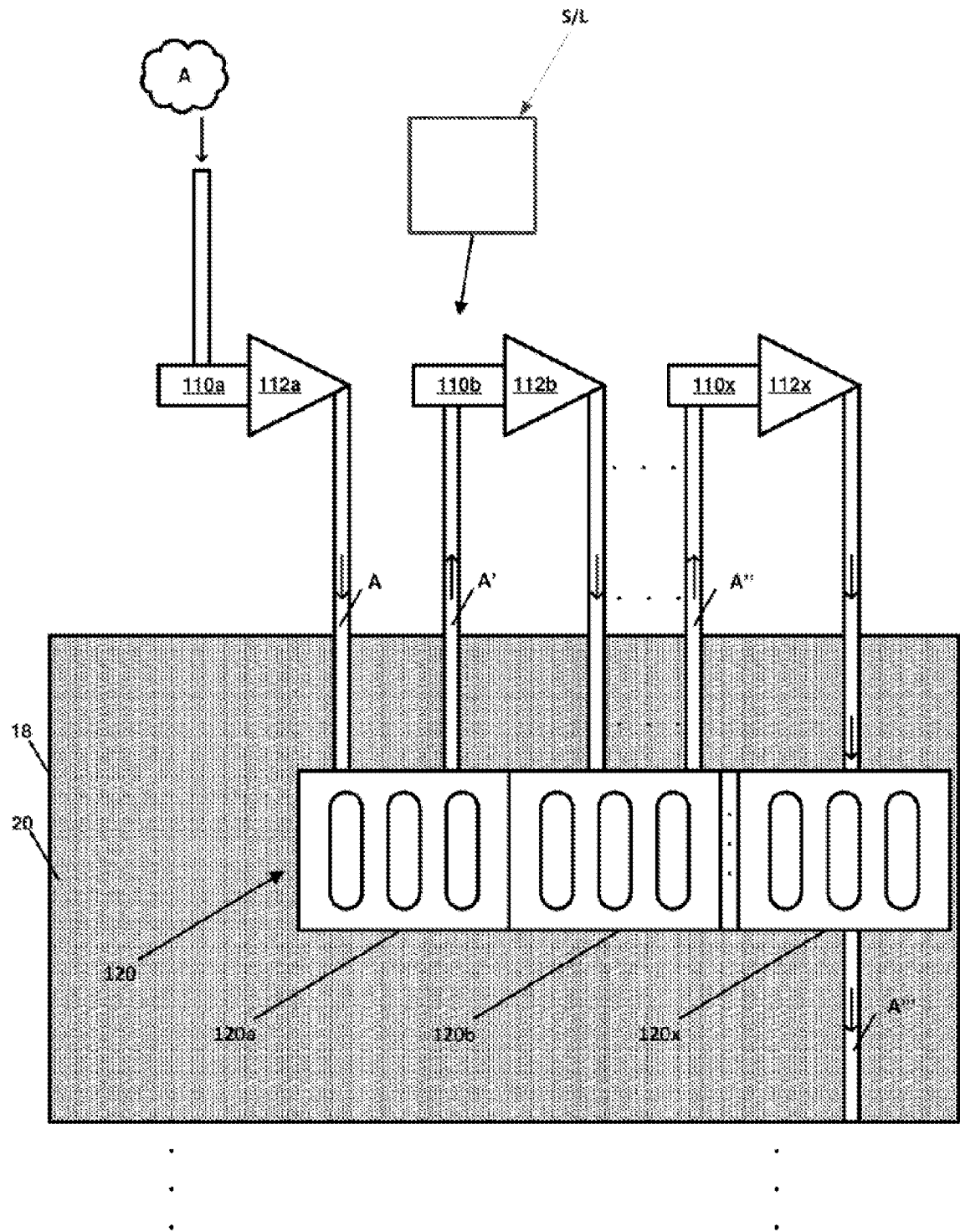


Figura 18

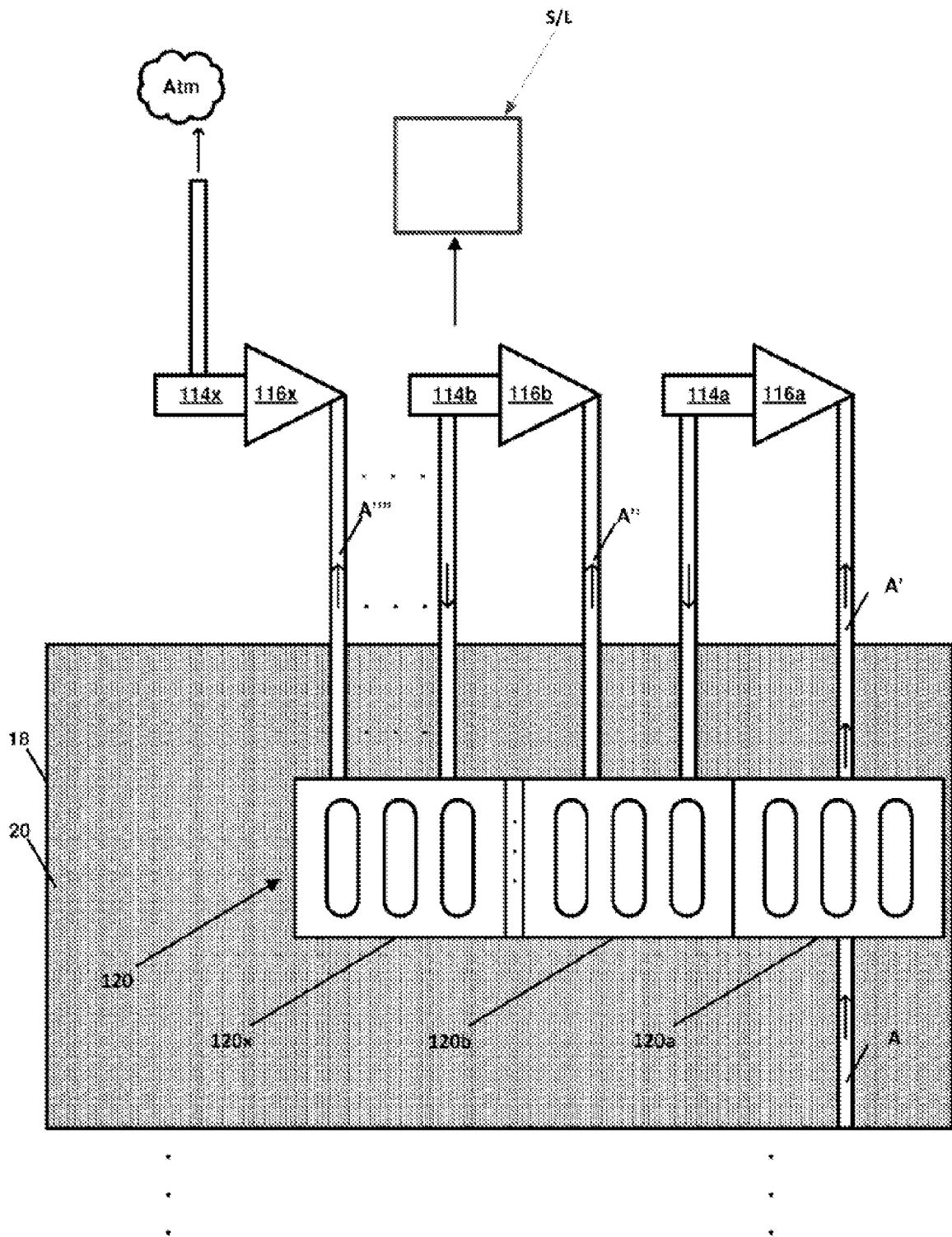


Figura 19

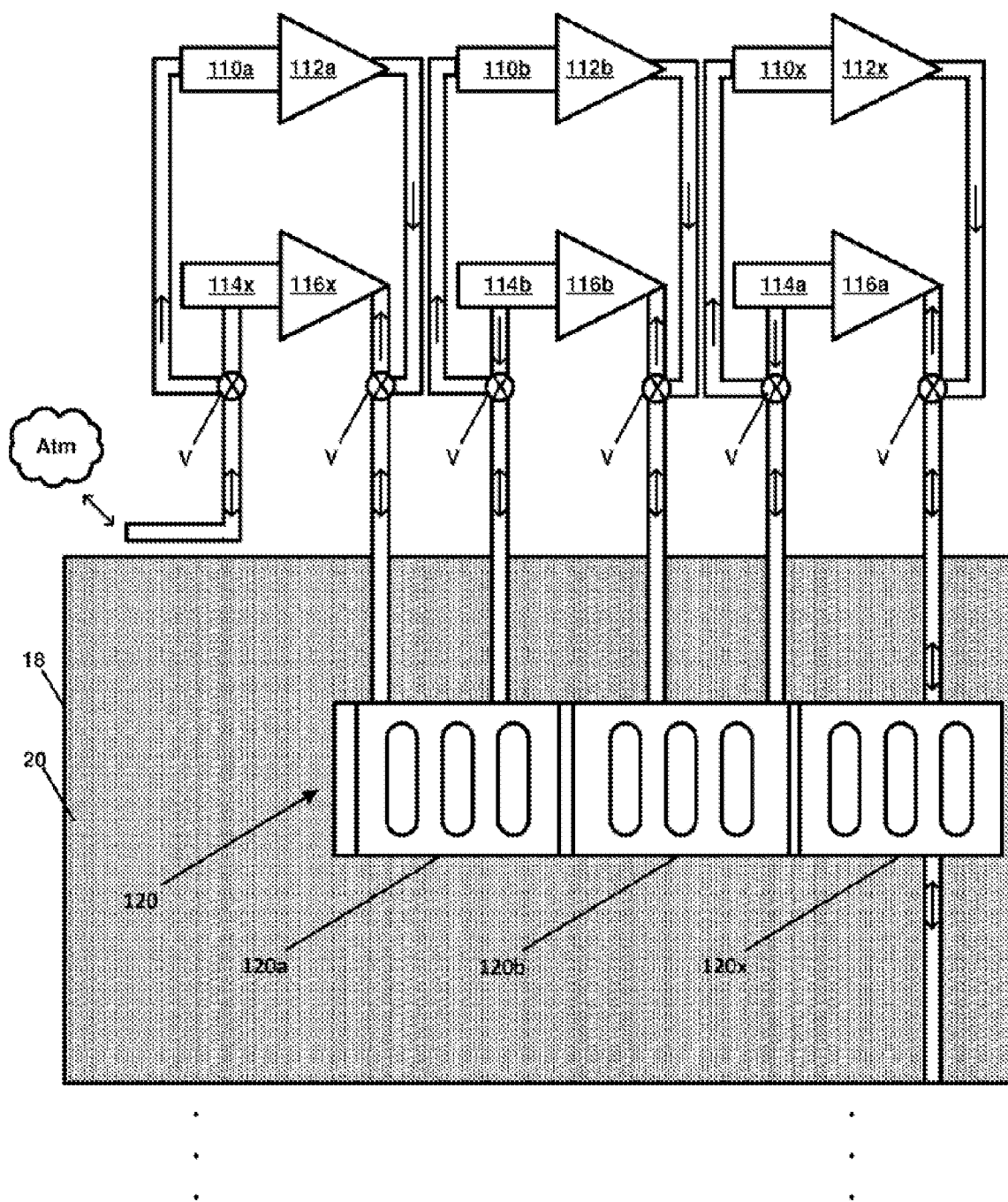


Figura 20

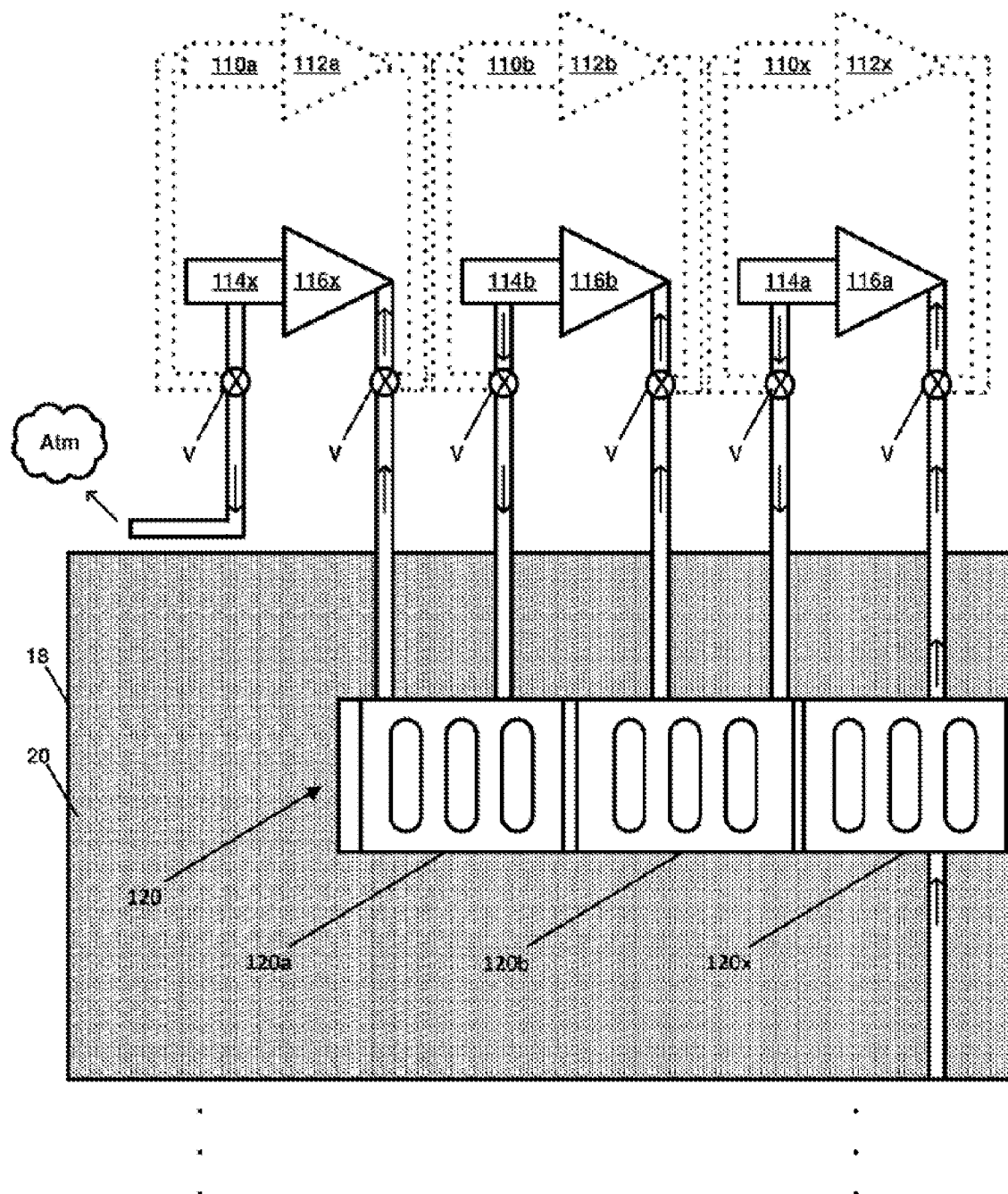


Figura 21

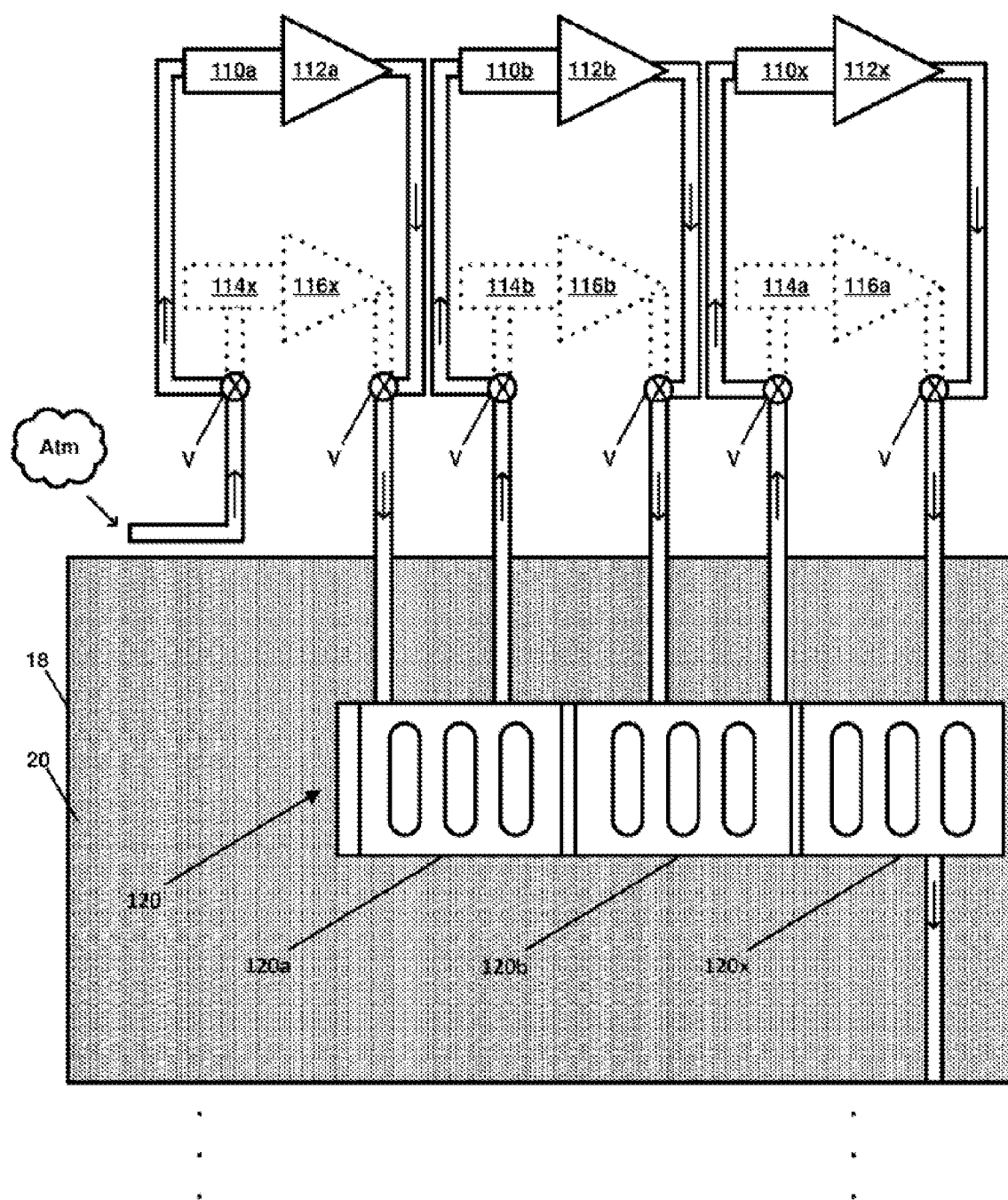


Figura 22

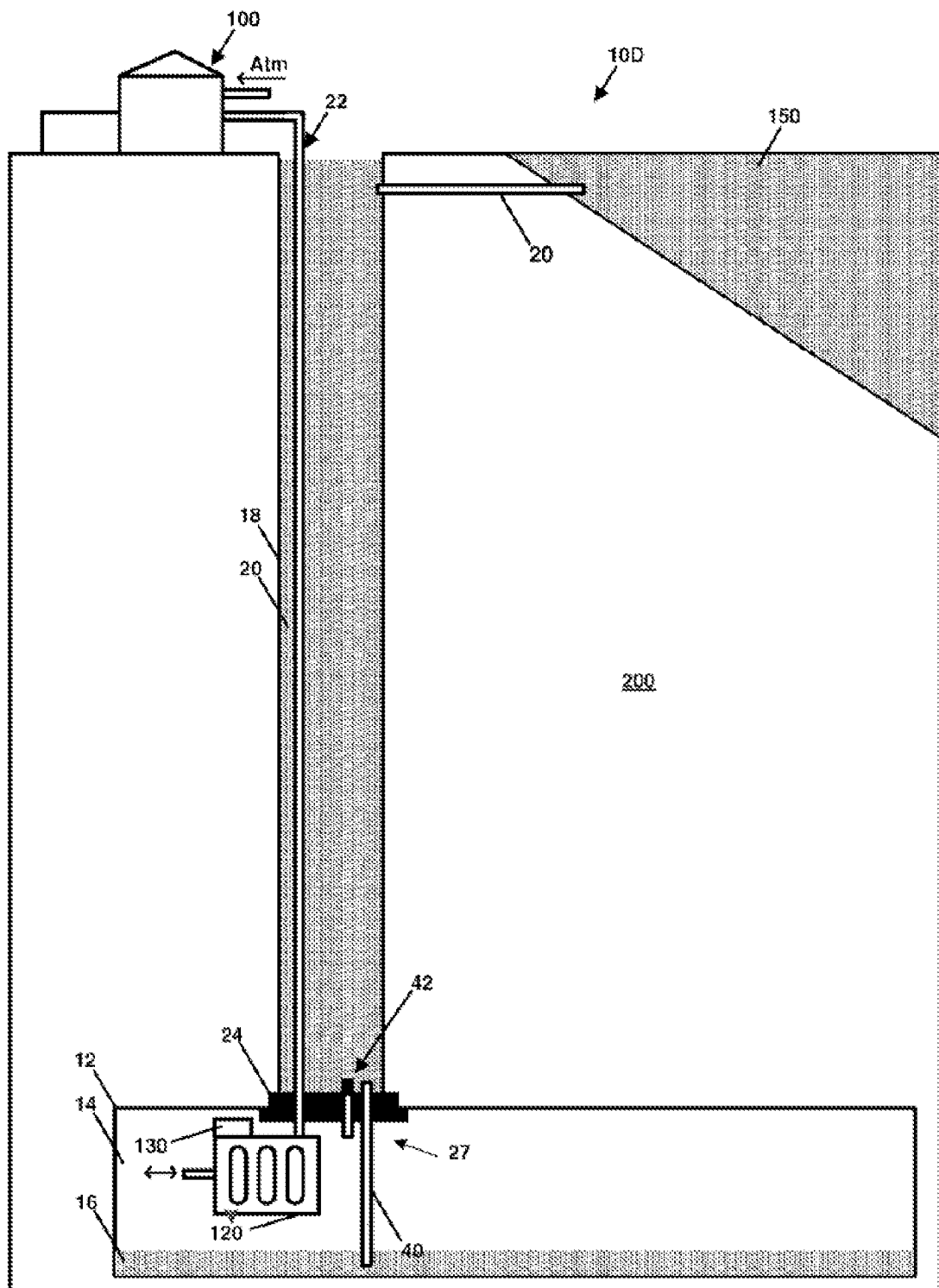


Figura 23

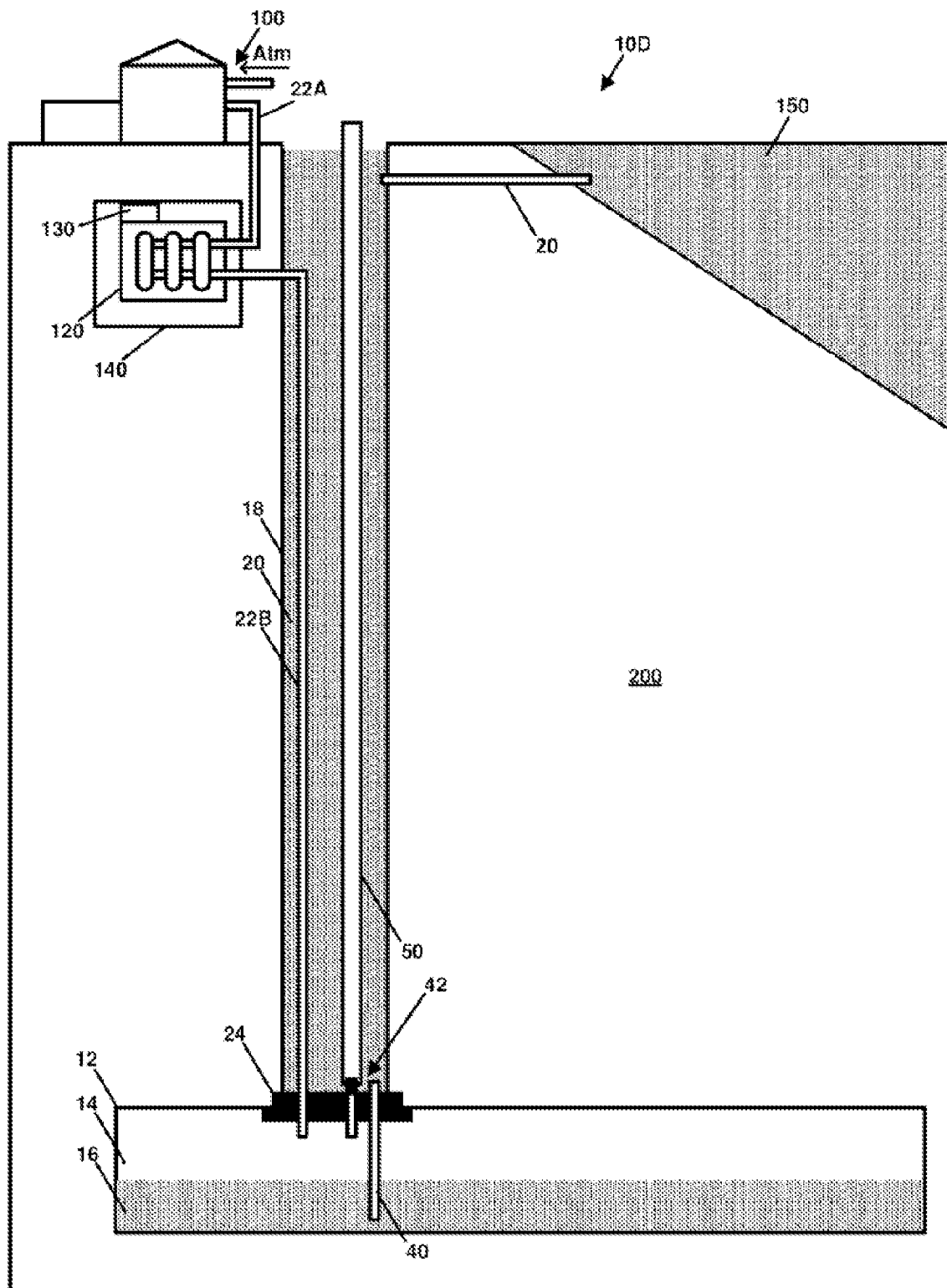


Figura 24

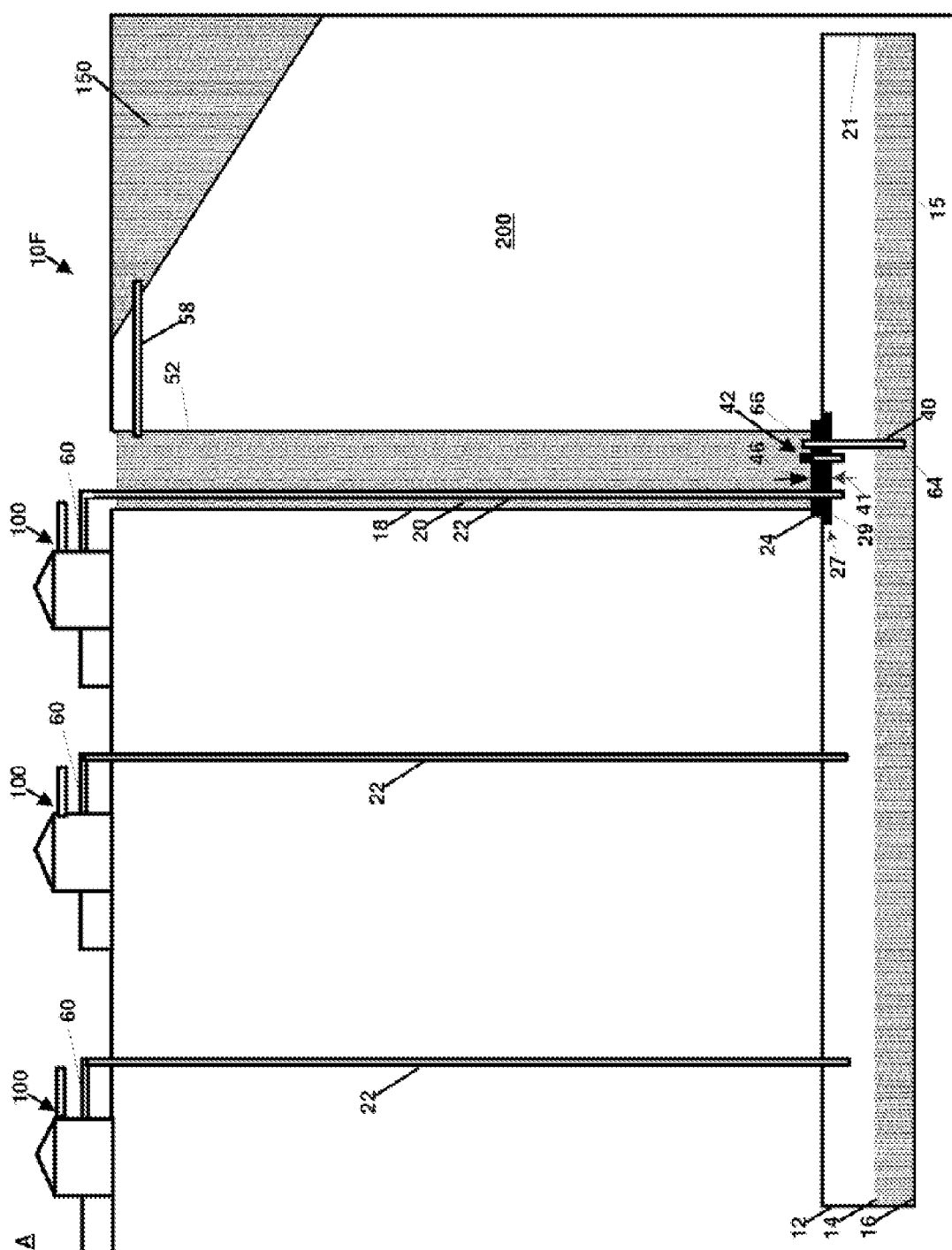


Figura 25

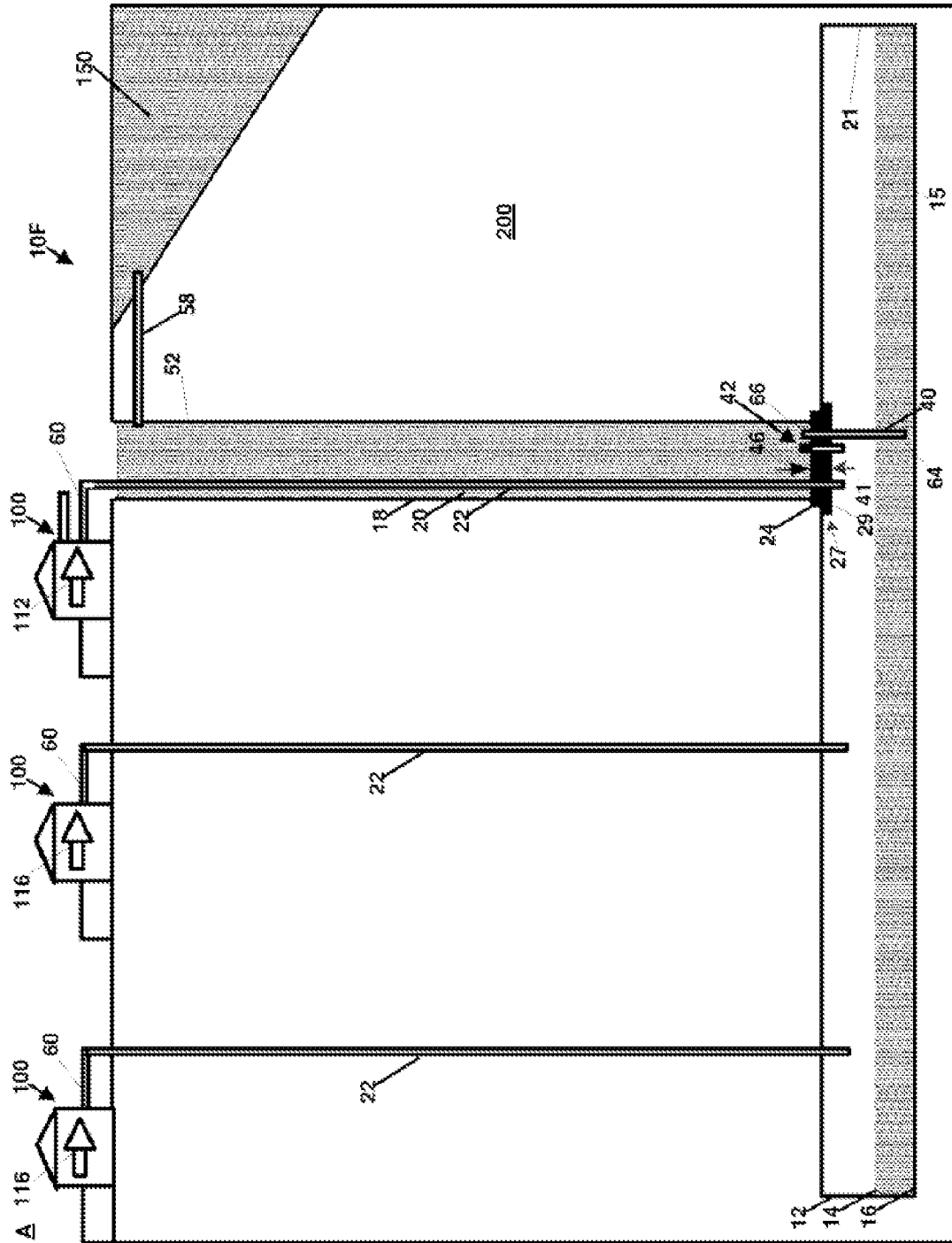


Figura 26

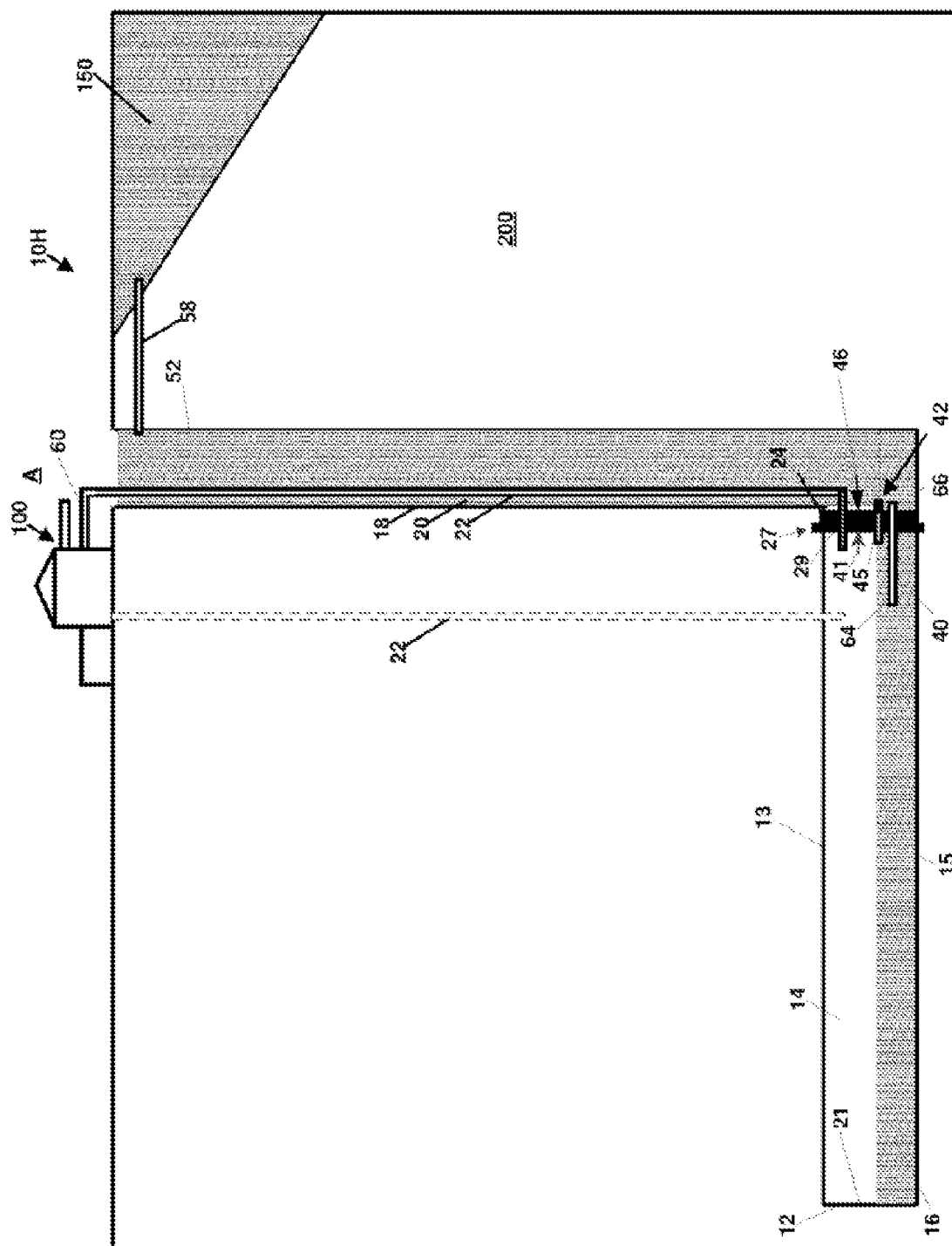


Figura 27

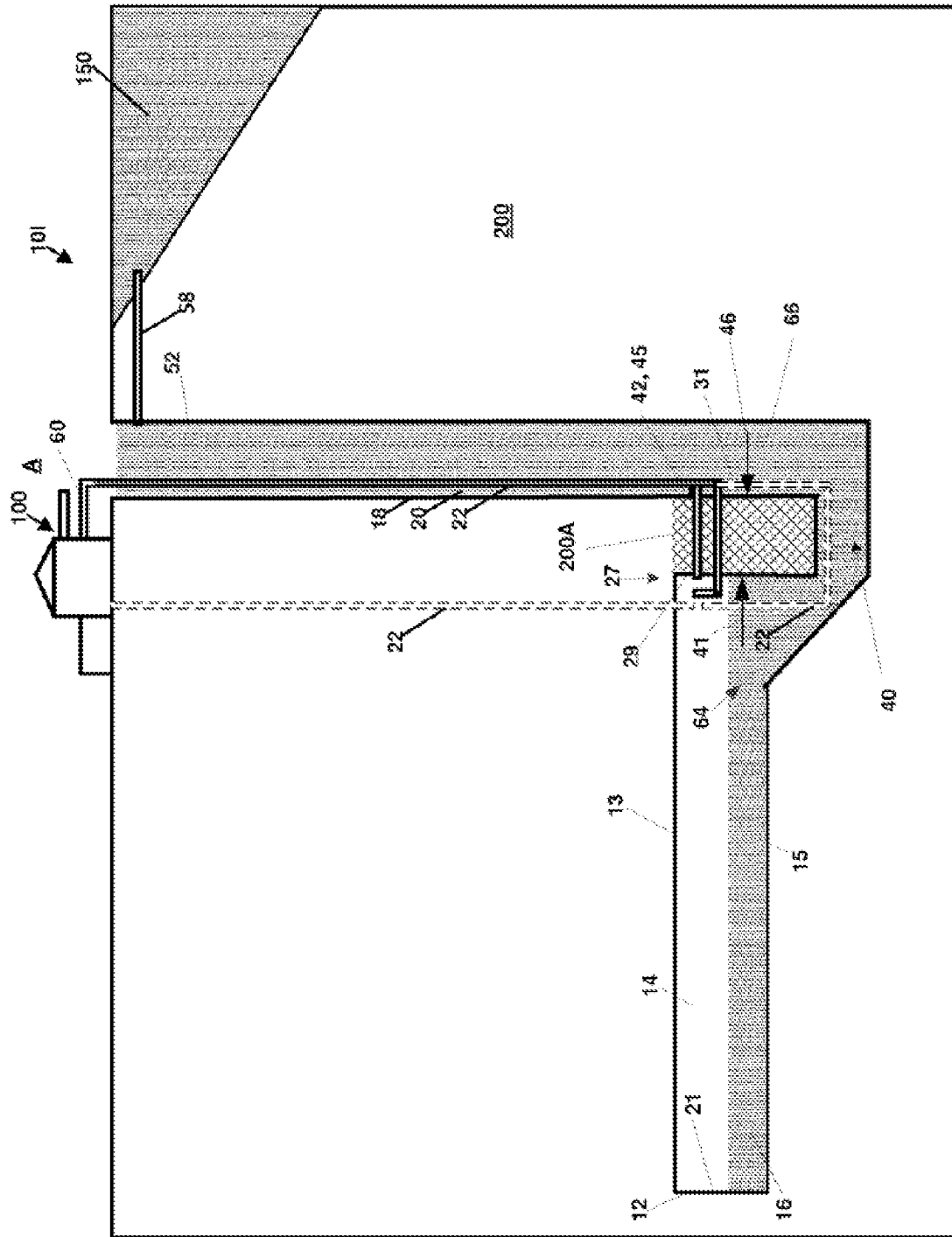


Figure 28