

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 733 077**

51 Int. Cl.:

F28D 20/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **14.03.2013 PCT/GB2013/050628**

87 Fecha y número de publicación internacional: **31.10.2013 WO13160650**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **14.03.2013 E 13717809 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **24.04.2019 EP 2841865**

54 Título: **Aparato de almacenamiento de energía térmica mejorado**

30 Prioridad:

23.04.2012 GB 201207114

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

27.11.2019

73 Titular/es:

**ENERGY TECHNOLOGIES INSTITUTE LLP
(100.0%)
Charnwood Building, Holywell Park
Loughborough, LE11 3AQ, GB**

72 Inventor/es:

**HOWES, JONATHAN SEBASTIAN;
MACNAGHTEN, JAMES;
HUNT, ROWLAND GEOFFREY;
BENNETT, ROBERT GEOFFREY y
WILSON, ALEXANDER BRUCE**

74 Agente/Representante:

TOMAS GIL, Tesifonte Enrique

ES 2 733 077 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

Aparato de almacenamiento de energía térmica mejorado

5 CAMPO TÉCNICO DE LA INVENCION

[0001] La presente invención se refiere a aparatos de almacenamiento de energía térmica, y a métodos para operar tales aparatos.

10 ANTECEDENTES DE LA INVENCION

[0002] En ciertas aplicaciones, es deseable almacenar «calor» o «frío» en un aparato de almacenamiento de energía térmica (en lo sucesivo, «almacén de calor») que contiene medios de almacenamiento térmico, los cuales pueden almacenar la energía térmica de manera eficiente hasta sea posteriormente recuperada. El «calor» o el «frío» se transfieren hacia y desde el medio de almacenamiento térmico mediante un fluido, normalmente un gas (por ejemplo, un gas inerte), que está en contacto directo con el medio de almacenamiento térmico. Los medios de almacenamiento térmico deben tener una superficie grande para facilitar la transferencia de energía, una buena porosidad para el flujo de gas y una capacidad calorífica adecuada en el rango de temperatura de operación del almacén. Normalmente, el medio de almacenamiento se proporciona como un medio de partículas porosas o un medio sólido poroso contenido dentro de un recipiente a presión aislado. En particular, cuando el almacén forma parte de un sistema de almacenamiento de energía donde se necesita almacenar grandes cantidades de calor o frío, la masa de los medios de almacenamiento térmico requeridos puede ser de decenas o de cientos de toneladas métricas, lo que requiere la construcción de recipientes de presión grandes y caros. En dichos recipientes, por lo tanto, todos los espacios muertos deben mantenerse al mínimo.

[0003] Como se ha mencionado anteriormente, una superficie mayor conduce a una mejor transferencia de energía. Si se usan partículas (o canales o poros en medios sólidos) menores, entonces la superficie tiende a aumentar por unidad de volumen de los medios de almacenamiento, es decir, se dice que tiene una «superficie específica» más alta.

[0004] Por ejemplo:-

- Esferas de lecho compacto 10 mm de diámetro (embalaje cúbico) aprox. 314 m²/metro³
- Esferas de lecho compacto 1 mm de diámetro (embalaje cúbico) aprox. 3140 m²/metro³
- Espuma metálica porosa 5 poros por pulgada (12 % de densidad) aproximadamente 430 m²/metro³
- Espuma metálica porosa 40 poros por pulgada (12 % de densidad) aprox. 2100 m²/metro³

[0005] Esto muestra que las esferas compactas con un tamaño de partícula de 1 mm tienen una superficie específica de aproximadamente 3140 m² en cada metro cúbico. Para la espuma metálica porosa con 40 poros por pulgada hay una superficie específica de 2100 m² en cada metro cúbico. La densidad de la espuma metálica es del 12 % del sólido, lo que significa que tiene una fracción vacía del 88 %. La fracción vacía de las esferas en este ejemplo es aproximadamente solo del 50 % a modo de comparación.

[0006] Existe una ventaja adicional de usar partículas más pequeñas con una superficie específica más alta. Si se usan partículas más pequeñas, hay menos pérdidas térmicas «irreversibles», ya que las partículas se equilibran mejor y sufren menos de la mezcla térmica interna (lo que llevaría a una temperatura media más baja para una partícula después de la carga que la temperatura más alta del gas en su exterior, y por lo tanto, conduciría tras la descarga al recalentamiento del gas a una temperatura más baja). Sin embargo, si bien estas pérdidas térmicas «irreversibles» se pueden reducir disminuyendo el tamaño de las partículas, esto aumenta las pérdidas de presión de gas a través de los almacenes.

[0007] El tamaño de partícula también afecta la utilización del almacén en términos de su efecto en el frente térmico. En una situación de almacenamiento de calor, se crea un frente térmico en el recipiente de almacenamiento, es decir, un aumento o una disminución de la temperatura en los medios de almacenamiento y/o el gas con la distancia desplazada aguas abajo, lo que ocurre en una región activa del almacén, es decir, donde la transferencia térmica es más activa.

[0008] La figura 1 ilustra la formación de un frente térmico en un almacén térmico y muestra cómo el proceso de carga de un almacén térmico establece un frente térmico dentro de una región del almacén que avanza en sentido descendente y que normalmente es muy pronunciada al principio pero que (para un gas que entra en un almacén con medios de almacenamiento a una temperatura más baja) se vuelve cada vez más superficial a medida que continúa la carga. Por lo tanto, el frente comienza con la longitud L1, pero a medida que se desplaza hacia abajo en el recipiente, se extiende en longitud hasta la longitud L2 y luego L3. Como el frente generalmente será asintótico, su longitud se puede discutir en términos de la longitud del frente entre T_{H2} y T_{A2},

las cuales están dentro del 3 % de la temperatura máxima T_{H1} y la temperatura de inicio T_{A1} . Si se establecen diferentes criterios, es decir, dentro del 2 % de las temperaturas máxima y de inicio, entonces las longitudes designadas del frente serán ligeramente más largas.

5 [0009] Para una geometría de almacén determinada, un frente más largo dará menores pérdidas térmicas, pero la longitud del frente también reducirá la cantidad utilizable del almacén, es decir, reducirá la utilización del almacén. Si un almacén tiene 5 m de diámetro y 10 m de largo y el frente térmico ocupa 5 m de esta longitud, la utilización del almacén se reduce a aproximadamente el 50 %.

10 [0010] Si se usara un almacén del mismo tamaño y se redujera el tamaño de partícula, entonces se podría lograr el mismo nivel de pérdidas térmicas con un frente mucho más corto. Por lo tanto, los tamaños más pequeños de partículas en un lecho compacto o de poros en un medio poroso tenderán a proporcionar una mejor transferencia de calor, menores pérdidas térmicas y una mejor utilización del almacén (un frente térmico más corto). La única desventaja es que hay una caída de presión asociada con el flujo de fluido a través del lecho y esta caída de presión aumenta significativamente a medida que se reduce el tamaño de partícula o poro.

15 [0011] La presión no es una cantidad vectorial, pero se puede definir un gradiente de presión con respecto a la distancia. La resistencia al flujo de fluido aumenta con una disminución en el tamaño de partícula y da lugar a una caída de presión en el fluido (δP). En el caso de un almacén térmico, hay una cierta caída de presión δP a lo largo de un almacén de longitud L , lo que en este caso significa que el gradiente de presión es $\delta P/L$. La presión disminuye en la dirección de la velocidad del fluido, por lo que la presión del gas será menor después de que el gas haya pasado a través del almacén. Esta caída de presión es también la razón por la cual el tamaño de partícula en lechos compactos no se reduce a un tamaño muy pequeño que dará una reversibilidad térmica mucho mayor. Las pérdidas por la caída de presión superan los beneficios del menor tamaño de partícula.

20 [0012] Otro problema asociado con la caída de presión a lo largo del almacén es que, siempre que sea posible, el gas tenderá a tratar de escapar desde el centro del medio de almacenamiento y en su lugar fluirá hacia los lados de la cámara sin pasar por el medio lo que conduce a un intercambio térmico deficiente. Sin embargo, es difícil proporcionar un sellado adecuado dentro de un almacén térmico, ya que presentan problemas particulares de tamaño y ciclos térmicos. A medida que un almacén se carga o descarga, las temperaturas pueden variar en cientos de grados y, a medida que el frente térmico avanza hacia arriba o hacia abajo, las secciones anteriores y posteriores experimentan una contracción/expansión térmica relativa que puede provocar brechas de 2 a 20 cm, por ejemplo, en un almacén de calor grande. Por lo tanto, se deben tener en cuenta dichos efectos de expansión térmica, al tiempo que se conserva el sellado adecuado.

25 [0013] La solicitud anticipada del solicitante WO2011/104556 describe un almacén térmico en el que el tamaño y el tipo de medios pueden variar a través del almacén térmico para reducir las irreversibilidades que se crean cuando se genera un frente térmico o para reducir la caída de presión de un gas que pasa a través del medio de almacenamiento incrementando el tamaño de partícula.

30 [0014] JP2004034853 describe una unidad de almacenamiento de calor adecuada para la recuperación de calor residual que comprende una entrada, una salida, un paso de flujo de fluido y un espacio de llenado de material de almacenamiento de calor.

35 [0015] JP2008144983 enseña un dispositivo de almacenamiento de calor para intercambiar energía térmica entre un material de almacenamiento de calor y un fluido.

40 [0016] Los almacenes térmicos se pueden utilizar en sistemas de almacenamiento de energía y, en particular, en sistemas de almacenamiento de electricidad con calor por bombeo (PHES, por sus siglas en inglés), donde se requieren al menos un almacén caliente y al menos un almacén frío. La solicitud anticipada del solicitante, WO2009/044139, describe un sistema PHES y ese sistema 2 se ilustra esquemáticamente en la figura 2. El sistema 2 comprende dos grandes recipientes de almacenamiento 4,6 de medios particulados 10 en los que la electricidad es utilizada por una bomba de calor/máquina del motor 8 en un ciclo de carga (en el sentido de las agujas del reloj como lo indica la flecha) para bombear calor desde un recipiente 4 (el almacén «frío») al otro recipiente 6 (el almacén «caliente») que da lugar al enfriamiento del primer recipiente 4 y el calentamiento del segundo recipiente 6. La electricidad puede entonces regenerarse invirtiendo el ciclo (es decir, en sentido contrario a las agujas del reloj) y pasando el calor del almacén caliente 6 de vuelta a través de la máquina al almacén frío 4, mientras que la máquina 8 acciona un generador de electricidad. El almacenamiento total de energía solo está limitado por el tamaño de los almacenes de energía térmica y, por lo tanto, su diseño es crítico para el sistema en general.

50 [0017] La presente invención está dirigida a proporcionar un aparato de almacenamiento de energía térmica de diseño mejorado y, en particular, un aparato adecuado para su uso en un sistema de almacenamiento de energía.

65 RESUMEN DE LA INVENCION

Primer aspecto

5 [0018] En un primer aspecto, la presente invención proporciona un almacén de energía térmica que comprende:
una cámara que tiene una entrada de gas y una salida de gas; y una variedad de capas de almacenamiento
térmico sucesivas, aguas abajo, permeables a los gases, dispuestas entre la entrada y la salida; cada capa de
almacenamiento térmico comprende medios de almacenamiento térmico permeables a los gases, con el
almacén configurado para el flujo de gas desde la entrada de gas a la salida de gas a través de la variedad de
10 capas de almacenamiento térmico para la transferencia de energía térmica hacia o desde los medios de
almacenamiento, que se caracteriza porque al menos una capa entre la variedad de capas de almacenamiento
térmico es una capa de almacenamiento térmico con válvula que tiene al menos una válvula que se puede
operar selectivamente como una válvula de derivación para permitir o evitar que al menos un poco de flujo de
gas pase a través de esa capa por la válvula, para sortear los medios de almacenamiento térmico de esa capa.

15 [0019] La ruta del flujo de gas a través de una capa con válvula puede, por lo tanto, ser controlada
selectivamente por su(s) válvula(s); si esta(s) última(s) esta(n) abierta(s), al menos algo de gas evitará el medio
de almacenamiento térmico y, en cambio, pasará a través de la válvula (es decir, la(s) «válvula(s) de
derivación») para pasar a través de la capa, siendo esta una ruta más fácil. La válvula puede asociarse con una
sola capa y puede ser una válvula fija que forma parte de la capa con válvula, por ejemplo, una abertura con
20 válvula en la capa con un mecanismo de válvula fija asociado.

[0020] La válvula puede comprender una abertura con válvula a través de la capa que tiene un mecanismo de
válvula asociado con la misma, que puede estar dentro de la abertura capaz de bloquearla, por ejemplo, una
25 tapa de válvula pivotante o giratoria, o, que actúa en cualquier lado de la abertura para bloquearla, por ejemplo,
un mecanismo de válvula deslizante, como una válvula deslizante, una válvula de tamiz o una válvula de placa
giratoria. Por ejemplo, se podría proporcionar una válvula de tamiz deslizante entre dos capas que comprenden
un asiento de válvula con múltiples aperturas estáticas a través del cual se monta una placa de válvula de tamiz
con múltiples aperturas para una reciprocidad lateral con el fin de abrir y cerrar las aperturas del asiento de la
30 válvula, donde al menos una proporción de las aperturas en el asiento de la válvula se comunica con pasajes a
través del medio de almacenamiento que permiten el flujo de gas de derivación.

[0021] A medida que el gas fluye a través de los medios de almacenamiento para que se produzca la
transferencia térmica, existe una caída de presión asociada con este flujo restringido. En almacenes térmicos
muy grandes, esto puede ser una caída de presión considerable. Minimizando el flujo de gas a través de las
35 regiones inactivas del medio de almacenamiento, p. ej., regiones aguas arriba donde la transferencia térmica
está sustancialmente completa, y/o regiones aguas abajo donde se está produciendo una transferencia térmica
mínima, es posible minimizar esta caída de presión. Dividiendo el almacén de energía térmica en una variedad
de capas de almacenamiento térmico sucesivas aguas abajo, es decir, dispuestas para el flujo de gas en serie a
través de las capas sucesivas, y, a continuación, proporcionando una o más capas con válvula, es posible
40 sortear de manera efectiva los medios de capas con válvulas térmicamente inactivas (válvulas abiertas) en la
serie, reduciendo así la caída de presión experimentada por el gas en comparación con la caída experimentada
a través de una capa sin válvula. Una disposición de capas con válvulas (a diferencia de los pasajes de flujo
dedicados que pasan a través del almacén) asegura el menor espacio muerto dentro del almacén, lo que
también puede ser importante para los almacenes grandes.

45 [0022] Las válvulas en una capa con válvula pueden ser operables para permitir o evitar el flujo de gas de
derivación a través de las válvulas dependiendo de la extensión de la transferencia térmica en el almacén, y en
particular, la extensión de la transferencia térmica en esa capa.

50 [0023] Cada capa con válvula puede estar provista de una variedad de válvulas espaciadas. Una disposición de
válvulas espaciadas múltiples mejora la distribución lateral de gas en toda la sección transversal del almacén (en
ese gas, el hecho de evitar una capa con válvula a través de sus válvulas lo hace en múltiples ubicaciones).
Cuando las válvulas en cada capa con válvula están configuradas para actuar independientemente de otras
capas con válvula, se logra la exposición selectiva o el aislamiento del flujo de gas para una capa con válvula
55 individual, lo que permite un control de flujo más preciso a través del almacén .

[0024] Preferiblemente, cada capa en al menos una sección central del almacén es una capa con válvula.
Idealmente, cada capa del almacén puede ser una capa con válvula, ya que incluso una sola capa sin válvula
siempre presenta una caída de presión; sin embargo, es posible que se necesiten capas sin válvula en la
60 entrada/salida de ciertos tipos de almacenes por razones de seguridad (por ejemplo, para evitar fugas).

[0025] Las válvulas pueden configurarse para actuar automáticamente, ya sea de acuerdo con una secuencia
preprogramada (donde el funcionamiento es predecible), o en respuesta a los cambios de temperatura
detectados por los sensores incorporados; esto puede incluir sensores en las entradas y/o salidas y/o sensores
dispuestos a lo largo de la cámara. Alternativamente, las válvulas pueden ser controladas por un sistema de
65 control que altera selectivamente la trayectoria del flujo de gas durante la operación. El sistema de control puede

incluir sensores u otros sistemas de retroalimentación que proporcionan información al sistema de control en cuanto al grado de progresión de la transferencia térmica dentro de los medios de almacenamiento; estos pueden proporcionarse dentro/fuera del almacén térmico a lo largo de su longitud para controlar la posición del frente térmico dentro de la cámara y/o en la salida para medir la temperatura del gas de salida.

5

[0026] El almacén puede comprender un sistema de control configurado para alterar la trayectoria de flujo del gas que fluye de la entrada a la salida en respuesta al avance del frente térmico.

10

[0027] La trayectoria del flujo de gas puede alterarse selectivamente dependiendo del avance de un frente térmico que se mueve a través de la cámara. Como se indicó anteriormente, por «frente térmico» se entiende el cambio de temperatura, ya sea un aumento o disminución de la temperatura en los medios de almacenamiento y/o el gas, que aparece en una región del almacén donde la transferencia térmica es más activa. El medio/gas aguas arriba de la posición del frente se encuentra aproximadamente a una temperatura similar a la del gas que entra al almacén (es decir, donde la transferencia térmica suele ser más o menos completa - cuando se carga un almacén térmico) y el medio/gas aguas abajo de la posición del frente se encuentra a una temperatura similar a la del medio de almacenamiento antes del inicio del proceso (es decir, cuando la transferencia térmica está más o menos sin iniciar - al cargar un almacén térmico caliente, el gas se aproximaría a la temperatura del medio antes de comenzar la carga). La ruta del flujo de gas puede alterarse de manera que solo pase a través de una región localizada del medio de almacenamiento en el que se encuentra el frente térmico (es decir, una región de transferencia de calor activa del medio). Por lo tanto, a medida que el frente térmico avanza a lo largo de la longitud del almacén donde se proporcionan las capas con válvula, el flujo de gas puede, a su vez, confinarse a diferentes capas térmicamente activas correspondientes del medio de almacenamiento.

15

20

25

[0028] Cualquier alteración en la trayectoria del flujo de gas usualmente alterará la distribución de gas entre las respectivas capas aguas arriba y aguas abajo del medio de almacenamiento, pero no modificará la distribución lateral de gas. La trayectoria del flujo puede alterarse al menos dos o tres veces durante un ciclo de carga o de descarga. La ruta del flujo de gas puede desviarse para fluir a través de regiones correspondientes aguas abajo, a su vez, de los medios de almacenamiento, que pueden ser regiones superpuestas o regiones adyacentes diferentes.

30

[0029] En una disposición, el sistema de control está configurado para desviar la ruta del flujo de gas hacia diferentes grupos aguas abajo seleccionados de capas con válvulas adyacentes, a su vez, a medida que el frente térmico se mueve aguas abajo, cerrando las aberturas con válvula de esos grupos de capas seleccionados a su vez.

35

[0030] En una disposición preferida, el sistema de control está configurado para desviar la trayectoria del flujo de gas hacia las capas con válvulas adyacentes seleccionadas ocupadas por el frente térmico (es decir, cuando la transferencia térmica está activa) cerrando las aberturas con válvulas de esas capas, mientras que las aberturas con válvula en las capas con válvula aguas arriba y/o aguas abajo, en las que hay una transferencia térmica mínima, se mantienen abiertas.

40

[0031] El almacén puede configurarse de manera tal que, durante la operación, la ruta de flujo del gas se pueda alterar para sortear las capas de almacenamiento térmico aguas arriba del frente térmico, en cuyas capas la transferencia térmica está sustancialmente completa.

45

[0032] El almacén puede configurarse de manera tal que, durante la operación, la ruta de flujo del gas se pueda alterar para sortear las capas de almacenamiento térmico aguas abajo del frente térmico, en cuyas capas la transferencia térmica está sustancialmente completa. Estas dos alteraciones de la trayectoria se llevarán a cabo de manera independiente una de otra. Este control independiente de las caras aguas arriba y aguas abajo del frente térmico es posible porque el almacén está dividido en capas y el control de flujo se proporciona en cada capa mediante válvulas (preferiblemente con cada capa con válvula controlada independientemente). Generalmente, el almacén está configurado de tal manera que, durante la operación, la ruta de flujo del gas se puede alterar de forma que solo pase a través de las capas de almacenamiento térmico en las que existe todo o parte del frente térmico.

50

55

[0033] En una disposición preferida, la cámara es una cámara vertical que comprende una variedad de capas de almacenamiento térmico horizontales dispuestas una encima de la otra entre la entrada de gas y la salida de gas, de manera que el almacén está configurado para el flujo vertical de gas desde la entrada de gas hasta la salida de gas a través de las capas de almacenamiento térmico. El almacén está dispuesto beneficiosamente de manera que la entrada de gas se suministra en la parte superior de la cámara cuando se configura como una entrada caliente o en la parte inferior de la cámara cuando se configura como una entrada fría.

60

[0034] Se puede proporcionar un hueco o plénium para la distribución lateral de gas por encima de los medios de almacenamiento térmico en cada capa (a diferencia, por ejemplo, de las capas adyacentes donde se produce la distribución de gas a través de una red de pasajes de suministro). Opcionalmente, también se pueden

65

proporcionar capas aislantes altamente porosas que proporcionan una resistencia mínima al gas, pero que reducen la transferencia de calor entre las capas y el desarrollo de cualquier flujo de convección. El uso de una capa aislante interpuesta entre las correspondientes capas aguas abajo ayudará a preservar el perfil/las características de un frente térmico si un almacén tiene que quedar parcialmente cargado.

5

[0035] Los medios de almacenamiento pueden comprender cualquier material adecuado para el intercambio térmico a las temperaturas y presiones contempladas en el almacén térmico. Los medios pueden comprender capas monolíticas correspondientes (al menos algunas de las cuales tienen válvulas integrales) provistas de una red interna de interconexión de pasajes/poros, o puede ser un lecho lleno de material particulado, incluyendo fibras, partículas u otro material generalmente sólido compacto de manera que es permeable a los gases. Este material puede ser de tamaño, forma y composición uniformes en todo el almacén o puede variar, según sea necesario. En el caso de material particulado, cuanto más pequeño y más densamente compacto sea el material, mayor será el potencial de caídas de presión, y por lo tanto, más deseable será el uso de la regulación del flujo. Dichos almacenes en capas, por lo tanto, facilitan el uso de tamaños de partículas de 20 mm o menos, o de 10 mm o menos, o incluso de 7 mm o menos. Como lo mismo se aplica a los tamaños de poros pequeños en medios sólidos, en todos los aspectos de la invención hay beneficios cuando los tamaños de partículas o poros seleccionados tienen una superficie específica inferior a 300, o incluso 500, o incluso 1000 m² de superficie en cada metro cúbico.

10

15

20

[0036] En una disposición preferida, la variedad de capas de almacenamiento térmico está en la forma de un conjunto de soporte en capas en el que los medios de almacenamiento térmico (preferiblemente particulados) de cada capa están soportados por el conjunto de soporte. El conjunto se puede haber construido montando las capas de almacenamiento térmico una encima de la otra para formar una pila.

25

[0037] Dentro del conjunto de soporte en capas, generalmente es deseable asegurar que el flujo de gas solo pueda pasar evitar el medio de almacenamiento térmico en las capas con válvula a través de las aberturas con válvula (es decir, no hay otros pasajes alargados o huecos (con o sin controladores de flujo) que se extiendan a través del cámara a través de los cuales el gas puede evitar los medios de almacenamiento).

30

[0038] El almacén puede comprender cualquier característica adecuada del segundo aspecto relacionado con un conjunto de soporte en capas, como se detalla a continuación.

35

[0039] Por ejemplo, cuando la base de una capa con válvula se forma a partir de baldosas porosas, la válvula puede proporcionarse dentro de una sola baldosa. Además, para evitar que el flujo sortee todo el almacén (dado que habrá una caída de presión a través del almacén per se), o para detener el flujo sin pasar por capas individuales (por ejemplo, cuando las válvulas están cerradas), los deflectores pueden proporcionarse como se detalla en el segundo y tercer aspectos para evitar el flujo de derivación no deseado entre el conjunto de soporte en capas y la pared de la cámara, y estos pueden proporcionarse opcionalmente para cada capa respectiva.

40

[0040] La capa con válvula puede comprender al menos un mecanismo de accionamiento para la(s) válvula(s) dispuesta(s) por encima (o a través de) los medios de almacenamiento térmico.

45

[0041] En una disposición, el actuador es un actuador de solenoide o un actuador neumático o un actuador mecánico. Los actuadores pueden estar alojados externamente al conjunto de soporte, preferiblemente en aislamiento térmico.

[0042] Una sola capa con válvula puede comprender una variedad de válvulas configuradas de modo que sean operadas al unisono por un solo mecanismo de accionamiento.

50

[0043] La válvula puede montarse o insertarse en la capa (o sección) y puede comprender una válvula de tamiz o una placa o tapa de válvula dispuestas dentro de una abertura enmarcada o en un asiento de válvula en cualquier lugar dentro de la capa/sección; el marco puede extenderse a través de una sola capa con válvula o a través de múltiples capas. Los marcos también pueden alinearse verticalmente en capas respectivas para flujo directo. Pueden ser transportar carga y estar dispuestos para apilarse unos sobre otros, opcionalmente con algún tipo de ajuste/enclavamiento seguro. Entonces serían necesarios orificios de ventilación o aberturas para permitir el flujo de gas a los marcos y para permitir el funcionamiento del mecanismo de válvula para cada capa con válvula.

55

60

[0044] Las válvulas pueden comprender válvulas antirretorno montadas en aberturas enmarcadas.

65

[0045] Las válvulas de las capas con válvula pueden comprender válvulas monoestables accionadas mediante un actuador que tienden a volver a la posición cerrada en caso de fallo del actuador. Dicha válvula, especialmente una válvula antirretorno monoestable, protegerá cualquier maquinaria aguas abajo del almacén asegurándose de que cualquier gas muy caliente o muy frío que entra al almacén nunca pueda salir directamente del almacén a la misma temperatura (que la maquinaria aguas abajo no está diseñada para soportar).

[0046] Las válvulas antirretorno pueden comprender válvulas de mariposa.

5 [0047] Estas últimas tienen la ventaja de que cuando hay medios de almacenamiento de partículas, cualquier medio que quede atrapado en la válvula puede desprenderse cuando se abre la válvula. Las válvulas de mariposa pueden estar contrapesadas de modo que siempre se cierran a menos que se abran mediante un mecanismo de accionamiento.

10 [0048] El almacén puede comprender una variedad de capas con válvulas adyacentes y las válvulas en capas adyacentes pueden alinearse verticalmente para proporcionar pasajes de derivación que se extienden a través del almacén. Esta disposición proporciona la ruta de flujo más directa y la menor pérdida de presión en todo el almacén.

15 [0049] Además, se proporciona un método para operar un almacén de energía térmica como se ha descrito anteriormente, en donde el almacén comprende un sistema de control que altera selectivamente la trayectoria del flujo del gas que fluye de la entrada a la salida controlando las válvulas en cada capa con válvula en respuesta al progreso de un frente térmico a través del almacén a medida que avanza a lo largo del almacén, y opcionalmente, en el que el sistema de control desvía el flujo de gas hacia diferentes grupos aguas abajo seleccionados de capas con válvulas adyacentes, a su vez, a medida que el frente térmico se mueve aguas abajo, cerrando aberturas con válvula de esos grupos seleccionados de capas a su vez.

25 [0050] Un sistema de almacenamiento de energía puede comprender uno o más almacenes de energía térmica como se describió anteriormente, que pueden ser un sistema de almacenamiento de energía eléctrica o cualquier sistema de almacenamiento de energía en el que se requiere un almacén de calor (aislado) temporalmente para almacenar energía térmica.

[0051] Esto puede comprender un sistema de almacenamiento de electricidad con calor por bombeo (PHES) que comprende:

30 una etapa de compresión para comprimir gas;
un primer almacén térmico para recibir y almacenar energía térmica del gas comprimido por la etapa de compresión;
una etapa de expansión para recibir gas después de la exposición al primer almacén térmico y expandir el gas; y,
35 un segundo almacén térmico para transferir energía térmica al gas expandido por el pistón de expansión.

[0052] Las etapas de compresión y expansión pueden comprender dispositivos de desplazamiento positivo, por ejemplo, conjuntos de pistones de compresión y expansión. El sistema PHES puede entonces comprender:

40 una cámara de compresión
una entrada para permitir que el gas entre en la cámara de compresión;
un pistón de compresión para comprimir el gas contenido en la cámara de compresión;
un primer almacén térmico para recibir y almacenar energía térmica del gas comprimido por el pistón de compresión;
45 una cámara de expansión para recibir gas después de la exposición al primer almacén térmico;
un pistón de expansión para expandir el gas recibido en la cámara de expansión; y
una salida para ventilar el gas desde la cámara de expansión después de la expansión del mismo; y,
50 un segundo almacén térmico para transferir energía térmica al gas expandido por el pistón de expansión.

[0053] El almacén de energía térmica puede ser una cámara vertical que comprende una variedad de capas horizontales de almacenamiento térmico dispuestas una encima de la otra entre una entrada de gas y una salida de gas, cada capa con medios de almacenamiento térmico permeables a los gases, con el almacén configurado para el flujo vertical de gas desde la entrada de gas hasta la salida de gas a través de las capas para transferir energía térmica hacia o desde el medio de almacenamiento, donde al menos una capa comprende una capa con válvula provista de al menos una abertura con válvula (integral) operable para permitir o evitar el flujo de gas a través de esa capa.

60 [0054] Puede haber una cámara vertical que tenga una entrada de gas, una salida de gas y un conjunto de soporte en capas dispuesto entre los medios de almacenamiento térmico permeable al gas de soporte, con el almacén configurado para el flujo vertical de gas desde la entrada de gas hasta la salida de gas a través del conjunto para la transferencia de energía térmica hacia o desde el medio de almacenamiento, donde el conjunto comprende una variedad de capas de almacenamiento térmico, cada una de las cuales soporta medios de almacenamiento térmico y se monta uno encima del otro para formar una pila, en donde al menos una capa es

una capa con válvula provista de al menos una apertura con válvula a través de la misma que permite que el flujo de gas sortee esa capa.

5 [0055] Se apreciará que el aparato de almacenamiento de calor mejorado con capas con válvulas de medios de almacenamiento, donde los medios de almacenamiento pueden tener tamaños pequeños de partículas/poros, pero las válvulas pueden permitir que se utilicen diferentes capas del almacén a su vez, puede tener una mejor transferencia de calor y/o reducción de la caída de presión global. Se apreciará que el almacén térmico puede diseñarse de modo que solo unas pocas capas estén activas a la vez, es decir, el gas pase a través de él.

10 [0056] El siguiente (2º) aspecto ya no está dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas, pero se conserva con fines informativos.

Segundo aspecto

15 [0057] En un segundo aspecto, se proporciona un aparato de almacenamiento de energía térmica que comprende una cámara vertical que tiene una entrada de gas, una salida de gas y un conjunto de soporte en capas dispuesto entre medios y que soporta medios de almacenamiento térmico permeables a los gases, con el almacén configurado para flujo de gas vertical desde la entrada de gas hasta la salida de gas a través del conjunto para la transferencia de energía térmica hacia o desde el medio de almacenamiento, en donde el conjunto comprende una variedad de capas de almacenamiento térmico, cada una de las cuales soporta medios de almacenamiento térmico y se montan unas sobre las otras para formar una pila de capas.

20 [0058] El conjunto de soporte en capas se forma construyendo (apilando) capas una encima de la otra para formar una pila (es decir, para que las capas inferiores no puedan retirarse) de la capacidad deseada. El almacén en capas del primer aspecto proporciona ventajas para el control del flujo y, por lo tanto, para controlar la caída de presión, especialmente cuando están involucrados medios de almacenamiento con tamaños pequeños de poros o de partículas. A medida que el frente térmico pase a través del almacén, habrá expansión y contracción de cada capa en relación con las capas a su alrededor. El uso de un enfoque de conjunto de soporte en capas ayuda a garantizar que haya suficiente tolerancia dentro de la estructura para que se produzca esta expansión/contracción sin colocar cargas excesivas en los componentes.

25 [0059] En una disposición, cada capa comprende una variedad de soportes de carga. Los soportes de carga pueden formar una o varias columnas de soporte que se extienden a través de la pila en capas. Estos pueden extenderse a través de parte o de toda la longitud de la pila.

30 [0060] Los soportes de carga pueden comprender pilares, arcos o cualquier otro elemento estructural adecuado (por ejemplo, capaz de transportar cargas verticales, principalmente en compresión).

35 [0061] En una disposición, cada capa comprende una base soportada por una variedad de soportes de carga (por ejemplo, pilares). Cada capa puede comprender una base porosa que soporta medios de almacenamiento térmico particulados en esa capa. Generalmente, la base porosa está diseñada solo para soportar medios de almacenamiento en esa capa; es decir, no se pretende que sea soporte de carga con respecto a la estructura restante. La base porosa se suministra opcionalmente con una malla o rejilla porosa más fina para retener los medios de almacenamiento.

40 [0062] Cada capa puede comprender una base porosa que soporta medios de almacenamiento particulados, un conjunto de soportes de carga (por ejemplo, pilares) que soportan la base porosa y, opcionalmente, enclavados en la misma, y una pared de soporte exterior para retener los medios de almacenamiento. (Los medios de almacenamiento no soportan por sí mismos las capas por encima de ellos).

45 [0063] De manera beneficiosa, el conjunto de soporte en capas se forma a partir de unidades estructurales donde cualquier superficie interna está rodeada por medios de almacenamiento y donde no hay superficies verticales adyacentes (por ejemplo, paredes adyacentes) que podrían proporcionar inadvertidamente pasajes de flujo de derivación y requerirían un sellado. Por lo tanto, se prefiere una disposición donde las únicas unidades estructurales sean una base y soportes de carga (por ejemplo, pilares o arcos) y una pared de soporte externa. Cuando sea necesaria cualquier superficie vertical (por ejemplo, las superficies internas de las paredes de soporte), estas no deben ser lisas, sino que deben estar provistas preferiblemente de un relieve en la superficie (por ejemplo, nervaduras, rebordes o texturas) para combatir el flujo de los bordes.

50 [0064] Las bases y los soportes de carga del conjunto de soporte en capas pueden formar una estructura autoportante, preferiblemente enclavada. El enclavamiento, si está presente, puede diseñarse principalmente para resistir fuerzas de tracción, y también puede diseñarse para permitir efectos de expansión térmica relativos.

55 [0065] Cada capa puede comprender una unidad de construcción integral (es decir, una pieza) o «bandeja» que se puede combinar en una disposición de teselado entrelazada para formar una capa coherente del conjunto, además de ser apilable en una bandeja similar debajo. La bandeja puede comprender una base con forma de

polígono de teselado, y soportes de carga para una unidad de construcción o «bandeja» por encima, y opcionalmente una pared exterior. Esta última puede añadir fuerza y soporte, pero añade masa y podría estimular el flujo de borde de derivación; por lo tanto, podría ser una cuadrícula o trama en lugar de una pared lisa. Los soportes pueden suministrarse dentro o en el borde de la base o pueden formar parte de una pared exterior. Los soportes y la base deben estar provistos, al menos, de medios de acoplamiento de manera que una unidad de construcción o «bandeja» pueda apilarse sobre otra como encaje seguro. La bandeja debe estar provista de mecanismos de enclavamiento de modo que las bandejas adyacentes puedan ensamblarse una al lado de la otra en una disposición de teselado para formar una única capa coherente en la que las bandejas adyacentes puedan enclavarse entre sí para resistir las fuerzas de tracción.

[0066] La pila se puede construir en capas agregando una o más capas a la vez. Por lo general, se construye capa por capa de tal manera que la capacidad de almacenamiento de energía térmica puede variarse mediante la eliminación/adición de una capa, y cada capa se construye (y se llena de nuevo opcionalmente con medios de almacenamiento) antes de añadir la siguiente capa.

[0067] En una disposición, se proporciona un hueco o plénum para la distribución lateral de gas por encima del medio de almacenamiento térmico en cada capa.

[0068] Las capas pueden ser idénticas en sección transversal. Las capas pueden ser idénticas en altura y pueden rellenarse de forma idéntica con el mismo tipo (por ejemplo, la misma composición, tamaño, configuración) y la misma cantidad de medios. Alternativamente, las capas pueden ser de sección transversal cónica, como se describe en relación con el cuarto aspecto detallado a continuación, con el fin de modificar el comportamiento del frente térmico.

[0069] En una disposición, cada columna de soporte está formada por una variedad de pilares, los pilares tienen extremos superior e inferior coincidentes configurados para apilarse uno sobre el otro. Cada columna de soporte puede formarse a partir de un pilar aportado desde cada capa.

[0070] Donde las bases y los pilares forman una estructura autoportante, los pilares pueden tener extremos superiores y/o inferiores configurados para soportar y, opcionalmente, enclavarse en la base. En ese caso, los pilares pueden tener extremos superiores o inferiores con un reborde anular dispuesto hacia afuera para soportar los lados inferiores de las bases y una parte concéntrica, anular, rebajada dispuesta hacia el interior del reborde, para recibir orejetas de ubicación suministradas en los lados inferiores de las bases. Además, los pilares pueden tener el reborde anular dispuesto hacia fuera y la parte rebajada anular dispuesta hacia dentro suministradas dentro de sus extremos superiores. Alternativamente, los pilares pueden tener el reborde anular dispuesto hacia fuera y la parte rebajada anular dispuesta hacia dentro suministradas en un pie que se extiende hacia fuera en sus extremos inferiores.

[0071] En una disposición, el conjunto de capas tiene sección transversal hexagonal o circular.

[0072] Cuando cada capa comprende una base porosa que soporta medios de almacenamiento particulados, pilares que sostienen la base y una pared exterior de soporte para retener los medios, la pared exterior de soporte puede ser soportada por pilares y es opcionalmente un ajuste «encajable» en los pilares. En otra disposición, la pared de soporte exterior puede comprender los extremos superior e inferior coincidentes configurados para apilarse unos sobre otros.

[0073] La pared exterior de soporte puede estar formada por secciones de pared y los bordes superior y/o inferior y/o laterales de las secciones de pared están configurados para compensar la expansión/contracción térmica relativa entre las respectivas capas de soporte adyacentes. Para ese fin, las secciones pueden estar dispuestas para superponerse o enclavarse con juego para contrarrestar los efectos de expansión térmica.

[0074] Cuando cada capa comprende una base soportada por pilares, la base puede comprender una variedad de baldosas porosas.

[0075] Las baldosas porosas pueden tener la forma de cuadrados, hexágonos o triángulos congruentes, incluyendo triángulos equiláteros.

[0076] La base se ensambla convenientemente utilizando polígonos de teselado, que pueden ser beneficiosamente polígonos regulares congruentes (del mismo tamaño y forma), es decir, formados por cuadrados congruentes, triángulos equiláteros o hexágonos, o compuestos por una variedad de polígonos regulares. Dado que un hexágono está formado por seis triángulos equiláteros, se puede usar una mezcla de triángulos equiláteros y hexágonos (que corresponden en tamaño a seis de los triángulos equiláteros). Preferiblemente, la base comprende baldosas con forma de triángulos equiláteros soportados solo por soportes de carga (por ejemplo, pilares) en sus respectivos vértices.

[0077] Los soportes de carga se pueden proporcionar con el conjunto en los respectivos vértices de las baldosas.

- 5 [0078] Las bases y los soportes de carga del conjunto de soporte en capas pueden formar una estructura autoportante enclavada con las baldosas configuradas en sus respectivos vértices para el acoplamiento interconectado con los soportes de carga.
- [0079] Se pueden suministrar secciones recortadas de las baldosas en sus vértices para acomodar los soportes de carga y se pueden suministrar orejetas u otras proyecciones en la parte inferior de las baldosas para el acoplamiento interconectado con los soportes de carga para resistir la tensión.
- 10 [0080] En un sistema PHES, es posible que un almacén caliente deba soportar temperaturas de funcionamiento entre la temperatura ambiente y más de 300 °C, especialmente más de 450 °C, mientras que un almacén frío debe soportar temperaturas que van desde la temperatura ambiente hasta menos de -50 °C, especialmente, menos de -100 °C o -140 °C.
- 15 [0081] En una disposición, el conjunto de soporte en capas está formado por componentes de cemento (por ejemplo, fundido/moldeado) y estos pueden ser componentes de cemento refractarios que pueden soportar altas temperaturas de operación para su uso en un almacén «caliente» o componentes de cemento que no necesitan ser refractarios, para usar en el almacén «frío». Sin embargo, los materiales fundición de bajo contenido en agua son deseables en un almacén frío bajo cero, y algunos cementos refractarios tienen un bajo contenido en agua y, por lo tanto, podrían utilizarse.
- 20 [0082] En otra disposición, los componentes pueden estar hechos de un material metálico, cemento ordinario o plástico reforzado con plástico o fibra o una combinación de materiales.
- 25 [0083] Por lo tanto, las baldosas y/o la base, los soportes de soporte de carga, como pilares, arcos o similares, las secciones de pared y cualquier componente que controle el flujo, como por ejemplo, los marcos de las válvulas, pueden estar formados por materiales de cemento moldeables (opcionalmente refractarios). La masa total de los medios de almacenamiento soportados por un conjunto de soporte en capas puede exceder las 3 toneladas métricas, o 10, o 50 o incluso 100 toneladas (métricas). La altura total del conjunto de soporte en capas puede superar 1 m, 1.5 m o incluso 2 m. Su diámetro total puede superar los 2 m, 3 m o 4 m, o incluso 5 m. El cambio de temperatura total durante la carga/descarga supera 50K, 100K o incluso 120K en un almacén frío (es decir, uno que se encuentra a temperaturas de congelación). El cambio de temperatura total durante la carga/descarga puede exceder los 200K, 300K o 400K para un almacén caliente.
- 30 [0084] El aparato puede comprender cualquier característica adecuada ya descrita anteriormente en relación con el primer aspecto. Al menos algunas capas pueden tener válvulas o aberturas con válvulas a través de ellas que permiten que el flujo de gas sortee los medios de almacenamiento en esa capa. Cuando la base está formada por baldosas porosas, algunas de ellas pueden incluir una abertura con válvula. Las aberturas con válvula en las capas correspondientes pueden alinearse verticalmente para proporcionar pasajes de derivación que se extiendan verticalmente a través de la pila.
- 35 [0085] Las válvulas pueden comprender cualquier válvula adecuada tal como, por ejemplo, válvulas antirretorno, válvulas de mariposa o válvulas deslizantes o giratorias, y en particular, válvulas antirretorno monoestables o biestables.
- 40 [0086] El sellado puede estar provisto de una cubierta hermética que incluya cualquiera de las características que se detallan a continuación con respecto al tercer aspecto.
- 45 [0087] En una disposición, los deflectores que se extienden radialmente hacia fuera desde el conjunto de soporte en capas se suministran al nivel de cada capa para evitar el flujo de derivación vertical entre capas adyacentes a lo largo del exterior del conjunto de soporte en capas.
- 50 [0088] En una disposición, el conjunto de soporte en capas está sellado estrechamente alrededor de su exterior vertical para limitar el flujo de derivación vertical entre el conjunto de soporte en capas y la pared interior de la cámara.
- 55 [0089] Dado que los medios de almacenamiento térmico en las capas correspondiente pueden estar rodeados por una estructura de pared (no estanca al gas), preferiblemente, en cada capa, al menos la superficie interna de la estructura de pared interseca las estructuras de pared correspondientes por encima y por debajo de ella a un nivel por debajo del nivel de los medios de almacenamiento térmico, de modo que cualquier gas que intente salir de las capas tendrá que hacerlo a través de los medios de almacenamiento térmico. La pared interna en esta región puede tener una conformación adicional para hacer una ruta más tortuosa para que el gas se desplace cuando está adyacente a la pared y, por lo tanto, disminuir también cualquier fuga de gas.
- 60 [0090] Se puede proporcionar un estrechamiento parcial o total del conjunto de soporte en capas, incluyendo las características adecuadas, como se detalla a continuación con respecto al tercer aspecto. Por lo tanto, el
- 65

conjunto de soporte en capas se puede dividir en capas horizontales individuales correspondientes que soportan los medios de almacenamiento térmico, al menos algunas de las cuales aumentan en área de la sección transversal horizontal al aumentar la distancia desde la entrada/salida superior del almacén.

5 [0091] Por lo general, la entrada de gas se coloca en la parte superior de la cámara como entrada caliente o en la parte inferior de la cámara como entrada fría, para minimizar cualquier efecto de convección no deseado.

[0092] El segundo aspecto puede involucrar un conjunto de soporte modular en capas para soportar medios de almacenamiento térmico dentro de un almacén de energía térmica, donde el conjunto comprende una variedad de capas de almacenamiento térmico para soportar medios de almacenamiento térmico montados uno encima del otro con el fin de formar una pila, con las capas soportadas por una variedad de soportes de carga.

10 [0093] El segundo aspecto puede implicar un método para ensamblar un aparato de almacenamiento de energía térmica como se describe anteriormente, en el que las capas se construyen sucesivamente una encima de la otra desde la parte inferior del ensamblaje hacia arriba hasta que se alcanza la capacidad de almacenamiento deseada.

[0094] La capa más baja del conjunto se puede ensamblar antes de que la siguiente capa se monte encima de esa capa, agregando capas sucesivas individualmente hasta que se alcance la capacidad de almacenamiento deseada. Las capas se añaden preferiblemente de forma individual. El ensamblaje de cada capa comprende preferiblemente ensamblar la base de esa capa y los pilares que ocupan esa capa y proporcionan soporte para la siguiente capa. Después de ensamblar cada capa, generalmente se rellena con medios de almacenamiento térmico antes de agregar la siguiente capa. Alternativamente, puede ser preferible rellenar la capa por debajo de la que está siendo ensamblada.

20 [0095] El aparato de almacenamiento puede erigirse in situ.

[0096] Puede haber un sistema de almacenamiento de energía que comprende aparatos de almacenamiento de energía térmica como se ha descrito anteriormente. Este puede ser un sistema de almacenamiento de electricidad con calor por bombeo (PHES), como se describe con respecto a otros aspectos.

30 [0097] El siguiente (3°) aspecto ya no está dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas, pero se conserva con fines informativos.

35 Tercer aspecto

[0098] En un tercer aspecto, un almacén de energía térmica puede comprender una cámara que comprende una entrada, una salida y una variedad de capas sucesivas de almacenamiento térmico aguas abajo dispuestas entre ellas, cada capa comprende medios de almacenamiento térmico permeables a los gases, con el almacén configurado para el flujo de gas desde la entrada de gas hasta la salida de gas a través de las capas para la transferencia de energía térmica hacia o desde los medios de almacenamiento, donde las capas de almacenamiento térmico están rodeadas por una cubierta hermética al gas que limita la derivación externa del flujo de gas de las capas de almacenamiento térmico.

45 [0099] Por aclarar, el almacén puede estar presurizado, y la cámara puede ser un recipiente a presión, sin embargo, la cubierta estanca al gas está diseñada para detener el flujo de gas sorteando los medios de almacenamiento, con los cuales hay una diferencia de presión adecuada. No está diseñado para soportar presiones del sistema, que probablemente sean sustancialmente mayores. Por ejemplo, en el almacén caliente de un sistema PHES, la caída de presión observada por la cubierta hermética al gas puede ser del orden de 0.02 bar, mientras que la presión del sistema puede ser de 12 bar.

50 [0100] La cámara usualmente comprenderá una cámara vertical que comprende una variedad de capas de almacenamiento térmico horizontales dispuestas una encima de la otra entre la entrada de gas y la salida de gas, de manera que el almacén está configurado para el flujo vertical de gas desde la entrada de gas hasta la salida de gas a través de las capas de almacenamiento térmico.

[0101] Por lo general, habrá una diferencia de presión a través de un almacén de energía térmica desde la entrada hasta la salida debido a la gran compactación de los medios de almacenamiento. Para un almacén en capas, esta diferencia desde la entrada hasta salida será la suma de las pérdidas de presión individuales que se desarrollan a través de cada capa. Dependiendo del área del almacén, el tamaño de las partículas, la profundidad de los medios a través de los cuales fluye el gas y el caudal, habrá una caída de presión asociada con este flujo. Esta caída de presión puede ser del orden de 200 Pa, 1000 Pa, 5000 Pa o 10000 Pa dependiendo de la aplicación. Por lo tanto, el gas tenderá a escapar hacia el área que rodea la estructura central y utilizará este espacio para fluir a lo largo del almacén sin pasar por los medios de almacenamiento térmico (es decir, pasando entre la periferia de las capas de almacenamiento térmico y la pared interior de la cámara), a menos que se le disuada de hacerlo.

- 5 [0102] El uso de una cubierta hermética al gas puede gestionar esto al mismo tiempo que simplifica las consideraciones de diseño y ayuda a cumplir las estrictas consideraciones de diseño asociadas con los recipientes presurizados, si se utiliza. Por ejemplo, los medios de almacenamiento térmico normalmente estarán aislados para reducir la pérdida o ganancia de calor. El aislamiento es mucho más efectivo si se aplica de manera continua, es decir, láminas sin particiones para cada capa que penetra en el aislamiento. Al proporcionar una cubierta hermética como barrera contra los gases (de modo que se evita sustancialmente que el gas vaya más allá de ella), se permite que el aislamiento entre la cubierta hermética y la pared del recipiente sea de naturaleza más continua y, por lo tanto, más efectivo.
- 10 [0103] Además, a medida que el frente térmico pase a través del almacén, habrá expansión y contracción de cada capa en relación con las capas que las rodean. Una cubierta estanca al gas puede diseñarse para que sea flexible de modo que pueda adaptarse a este movimiento sin perder la integridad hermética al gas.
- 15 [0104] La cubierta puede encerrar y conformar firmemente el contorno externo de las capas de energía térmica. Se puede suministrar un aislamiento entre la pared de la cámara y la cubierta y es sustancialmente ininterrumpido.
- 20 [0105] La cubierta no suele soportar ninguna otra estructura que no sea ella misma y, por lo tanto, puede ser un componente no estructural soportado por las capas de almacenamiento térmico.
- [0106] En una disposición, la cubierta comprende una membrana delgada y flexible.
- 25 [0107] La cubierta generalmente será una membrana delgada y flexible a la que se puede dar forma en torno a las capas de almacenamiento. Preferiblemente, el almacén tiene un contorno externo de sección cilíndrica circular o poliédrica regular (seis o más lados), ya sea de diámetro constante o cónico.
- 30 [0108] Aunque la cubierta puede ser una membrana de una sola pieza, generalmente se construirá a partir de secciones (generalmente con forma cóncava) o mangas individuales (es decir, una sección cilíndrica que rodea a una capa (parcial o totalmente) o dos o más capas) selladas entre sí y dispuestas respectivamente corriente abajo una de la otra.
- 35 [0109] La cubierta puede estar formada por láminas de material flexible que pueden sellarse a presión (p. ej., engastado) o por calor o enrollarse o doblarse (p. ej., pliegues paralelos (dividiéndose por la mitad en cada uno) o pliegues en zigzag) una sobre la otra, opcionalmente con el uso de mecanismos de sujeción como pegamento, soldadura, remachado, o el uso de juntas de misiles o similares.
- 40 [0110] La cubierta puede estar hecha de láminas de plástico (por ejemplo, PTFE a alta temperatura) o láminas metálicas, por ejemplo, chapas metálicas tales como, por ejemplo, acero dulce o acero inoxidable, p. ej., 0.2-2 mm de espesor. Las láminas metálicas pueden estar selladas a presión o por calor, p. ej., una junta permanente o una soldadura. El almacén puede construirse en capas, es decir, un pequeño número de capas (es decir, de 1 a 3) a la vez.
- 45 [0111] Las capas de almacenamiento térmico se pueden construir capa por capa una encima de la otra y la cubierta también se puede construir capa por capa. Cada capa de almacenamiento puede tener su propia manga de cubierta correspondiente (circunferencialmente) que rodea a esa capa, ya sea formado por una membrana de una sola pieza o por secciones respectivas selladas juntas para formar una manga. Las mangas de la cubierta se pueden sellar a las mangas inmediatamente por encima o por debajo de las juntas de sellado que se extienden circunferencialmente. En una disposición alternativa, las mangas de la cubierta se superponen entre sí y se sellan en una cubierta adicional que encierra herméticamente todas las mangas de la chaqueta correspondiente y está sellada.
- 50 [0112] La cubierta puede estar formada por componentes de láminas de sección transversal cóncavos en forma de «L» que comprenden dos extremidades (por ejemplo, una sección generalmente vertical y una sección generalmente horizontal). Estos componentes son cóncavos de modo que una extremidad (por ejemplo, una sección vertical) forma una superficie cilíndrica de la cubierta que rodea las capas de almacenamiento, mientras que la otra extremidad (por ejemplo, una sección horizontal) forma superficies deflectoras anulares que se extienden hacia las capas de almacenamiento térmico, preferiblemente incorporándose dentro de las juntas entre las respectivas capas de almacenamiento.
- 55 [0113] Es preferible que el espacio entre la cubierta hermética al gas y la pared del recipiente se mantenga a la presión más baja (en relación con la entrada o la salida del almacén), ya que es posible mantener la cubierta hermética al gas en tensión en lugar de compresión. Esto se puede lograr simplemente haciendo que las válvulas antirretorno cargadas mediante resorte accedan al espacio entre la cubierta estanca al gas y la pared del recipiente desde la entrada y la salida del almacén. Estas válvulas antirretorno deben abrirse cuando la presión en el espacio de entrada o salida fuera del almacén es menor que la del espacio entre la cubierta
- 60
- 65

estanca al gas y la pared del recipiente. De esta manera, la presión siempre se mantendrá a la presión de gas más baja del almacén.

5 [0114] En una disposición, la cubierta comprende o está unida herméticamente a las secciones de deflector anular que se extienden radialmente hacia el interior desde la cubierta a las capas de almacenamiento a intervalos a lo largo del almacén para restringir el flujo de derivación vertical.

10 [0115] Tales secciones de deflectores anulares evitan que el flujo de derivación se desplace muy hacia abajo del almacén a lo largo del exterior del conjunto de soporte en capas.

15 [0116] Pueden existir juntas entre las respectivas capas adyacentes de almacenamiento térmico horizontal, y las secciones de deflector anular pueden extenderse radialmente hacia adentro desde la cubierta para intersecar las juntas con el fin de restringir el flujo de derivación vertical. Como resultado, el espacio entre las capas y el interior de la chaqueta se divide de manera efectiva en espacios anulares correspondientes a cada capa (o algunas capas adyacentes). Las secciones deflectoras pueden estar intercaladas entre las juntas. Se pueden proporcionar sellos dentro de las juntas para garantizar que esto sea hermético o casi hermético al gas, y se pueden proporcionar mecanismos de expansión/contracción (por ejemplo, bridas que descansan en huecos de expansión) para permitir la expansión o contracción relativas entre las capas del almacén térmico correspondiente a medida que el frente térmico viaja hacia arriba o hacia abajo desde el almacén. Cabe señalar que la diferencia de presión entre las capas suele ser mucho menor que la diferencia de presión entre la entrada y la salida del almacén. La razón de esto es que la diferencia entre la entrada y la salida del almacén es la suma de todas las diferencias de presión a través de las capas activas, es decir, si el gas pasa a través de 10 capas, entonces la caída de presión en todo el almacén será aproximadamente 10 veces más que eso sobre una capa. En consecuencia, la calidad requerida de la capa intermedia de sellado hermético al gas puede ser menor, ya que las diferencias de presión también son mucho menores.

25 [0117] Por lo tanto, como se ha descrito anteriormente, el espacio entre las capas de almacenamiento térmico y el interior de la cubierta se divide de manera beneficiosa en espacios anulares aguas abajo correspondientes que evitan que el flujo de gas sortee externamente las capas de almacenamiento térmico.

30 [0118] Dentro de la cubierta estanca al gas, los medios de almacenamiento térmico en las capas correspondientes pueden estar rodeados por una estructura de pared (no estanca al gas). Preferiblemente, en cada capa, al menos la superficie interna de la estructura de pared interseca las estructuras de pared correspondientes por encima y por debajo de ella a un nivel por debajo del nivel de los medios de almacenamiento térmico, de modo que cualquier gas que intente salir de las capas tendrá que hacerlo a través de los medios de almacenamiento térmico. La pared interna en esta región puede tener una conformación adicional para hacer una ruta más tortuosa para que el gas se desplace cuando está adyacente a la pared y, por lo tanto, disminuir también cualquier fuga de gas.

35 [0119] En particular, se puede proporcionar un hueco o cámara para la distribución lateral de gas por encima del medio de almacenamiento térmico en cada capa, y se proporciona una junta, deflector u otra barrera adecuada en la periferia del plenum para que el gas no pueda salir directamente de la capa del almacén térmico a esa altura.

40 [0120] La variedad de capas de almacenamiento térmico puede tener la forma de un conjunto de soporte en capas en el que cada capa del conjunto de soporte soporta medios de almacenamiento térmico (preferiblemente particulados), con el conjunto de soporte en capas rodeado por la cubierta hermética al gas, cuya cubierta limita el flujo vertical de derivación entre el conjunto de soporte en capas y la pared interior de la cámara.

45 [0121] El conjunto de soporte en capas puede tener cualquiera de las características del conjunto de soporte en capas del segundo aspecto, como se ha descrito anteriormente.

50 [0122] En una disposición, cada capa comprende una pared de soporte más externa que rodea y retiene el medio de almacenamiento térmico, y el almacén se construye capa por capa de manera que las juntas que se extienden horizontalmente por encima o por debajo de las paredes soportan la cubierta hermética al gas. En ese caso, la cubierta preferiblemente comprende o está unida herméticamente a las secciones de deflector anular que se extienden radialmente hacia afuera desde la cubierta y se intercalan entre las juntas.

55 [0123] El tercer aspecto puede implicar un método para ensamblar un conjunto de soporte modular como el descrito anteriormente, en el que las capas se construyen sucesivamente unas encima de las otras capa por capa y las juntas que se extienden horizontalmente por encima o por debajo de las paredes se forman de manera tal que soportan la cubierta hermética al gas.

60 [0124] El siguiente (4º) aspecto ya no está dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas, pero se conserva con fines informativos.

65

Cuarto aspecto

5 [0125] En un cuarto aspecto, se proporciona un aparato de almacenamiento de calor que comprende al menos un almacén térmico que comprende una cámara vertical que tiene una entrada de gas, una salida de gas y un medio de almacenamiento térmico permeable a los gases dispuesto entre ellos, con el aparato configurado para el flujo de gas vertical a través de la cámara desde la entrada hasta la salida para la transferencia de energía térmica hacia o desde el medio de almacenamiento mediante el cual la entrada de gas se configura en la parte superior de la cámara como entrada caliente o en la parte inferior de la cámara como entrada fría, y en donde el área de la sección transversal y el volumen (o la masa) de los medios de almacenamiento térmico disponibles para la transferencia de energía térmica aumentan al aumentar la distancia desde el extremo superior (más caliente) del almacén.

15 [0126] Este cuarto aspecto se refiere a un almacén para almacenar energía térmica (es decir, «calor» o «frío») que, como se ha descrito anteriormente, está configurado para el flujo de gas vertical y para el funcionamiento con la parte más caliente del almacén en la parte superior (es decir, el flujo de gas más caliente entra o sale de la parte superior del almacén) y la parte más fría en la parte inferior, de modo que los frentes térmicos avanzan hacia arriba o hacia abajo a través del almacén con efectos mínimos por la convección.

20 [0127] Como también se describió anteriormente en relación con la figura 1, durante la carga de un almacén, un frente térmico tenderá a alargarse a medida que avanza por el almacén. Esto se debe en parte a que la capacidad calorífica de los materiales aumenta al aumentar la temperatura. Por lo tanto, cuando se inyecta gas en un almacén más frío donde el medio de almacenamiento es un material cuya capacidad calorífica aumenta con la temperatura en el rango en cuestión, entonces el volumen del medio que está activo en el frente térmico aumentará a medida que se cargue el almacén. (Los medios aguas arriba más calientes necesitan más energía para aumentar en un grado de temperatura en comparación con los medios más fríos aguas abajo, donde el mismo paquete de energía permitiría que varias cantidades equivalentes de los mismos medios aumenten en un grado de temperatura). Para un determinado almacén la geometría de un frente más largo dará menores pérdidas térmicas, pero la longitud del frente también reducirá la cantidad utilizable del almacén, es decir, reducirá la utilización del almacén. Si bien un frente térmico puede acortarse por la reducción del tamaño de las partículas o los poros de los medios de almacenamiento, esto puede provocar un aumento de las pérdidas de presión.

35 [0128] Este aspecto propone el uso de una sección transversal y el volumen asociado de los medios de almacenamiento que se incrementen con la distancia desde la parte superior del almacén, a fin de minimizar el alargamiento no deseado del frente térmico. Este aumento es siempre en esta dirección porque los almacenes térmicos funcionan con la parte más caliente en la parte superior y la parte más fría en la parte inferior.

40 [0129] Este aumento puede ocurrir progresivamente al aumentar la distancia desde la parte superior del almacén (es decir, de manera constante en incrementos sustancialmente iguales). El cambio en el área de la sección transversal horizontal puede ocurrir a lo largo de todo el almacén o solo en una sección seleccionada del almacén, por ejemplo, una parte menor donde un frente térmico puede alargarse más; esta puede ser los tres cuartos o dos tercios inferiores del almacén, o la mitad inferior, o incluso el tercio o cuarto inferior del almacén.

45 [0130] La tasa de aumento en el área de la sección transversal horizontal se puede seleccionar para compensar parcial o totalmente el alargamiento del frente térmico durante la operación, mientras que los medios de almacenamiento generalmente se mantendrán igual. Por ejemplo, otras características físicas y químicas pueden mantenerse igual (es decir, el mismo tipo, la misma forma y tamaño, la misma capacidad calorífica).

50 [0131] Como se describió en relación con aspectos anteriores, los medios de almacenamiento pueden ser monolíticos y autoportantes, o pueden ser particulados y estar apoyados en un conjunto de soporte, por ejemplo, como se ha descrito anteriormente, excepto que sería de diseño al menos parcialmente cónico. El conjunto puede estrecharse en una parte (por ejemplo, se ensancha hacia su base) de su longitud o en toda la longitud.

55 [0132] En una disposición, los medios de almacenamiento térmico son particulados y se apoyan en un conjunto de soporte al menos parcialmente cónico. Los medios particulados pueden ser como se describe en aspectos anteriores.

60 [0133] En una disposición, el almacén se divide en capas horizontales individuales correspondientes de medios de almacenamiento térmico, al menos algunas de las cuales aumentan en el área de la sección transversal horizontal al aumentar la distancia desde el extremo superior (más caliente) del almacén.

65 [0134] Preferiblemente, el área de la sección transversal de las capas aumenta de tal manera que cuando el medio de almacenamiento es el mismo, el volumen de los medios de almacenamiento aumenta, preferiblemente en cada capa sucesiva, a medida que se avanza desde la parte superior del almacén hasta la parte inferior, o, solo en las secciones inferiores del almacén, como se ejemplificó anteriormente.

- 5 [0135] La estructura en capas puede tener opcionalmente cualquier característica adecuada como se describe con respecto a aspectos anteriores. Por lo tanto, por ejemplo, se pueden suministrar plenums entre las capas para la distribución lateral de gas y/o capas aislantes. También puede haber una disposición de capas y plenums individuales alternantes.
- 10 [0136] Las capas pueden comprender medios de almacenamiento sólidos pero porosos (por ejemplo, estructuras monolíticas, por ejemplo, espumas) o medios particulados soportados en bandejas, etc., como se describe en aspectos anteriores.
- 15 [0137] En el caso de material particulado, cuanto más pequeño y más densamente compacto sea el material, mayor será el potencial de caídas de presión y, por lo tanto, más deseable el uso de almacenes en capas (y la regulación del flujo como se describe a continuación), especialmente para tamaños de partículas de 20 mm o menos, o 10 mm o menos, o incluso 7 mm o menos.
- 20 [0138] Convenientemente, el volumen y el área de la sección transversal horizontal ocupada por el aislamiento pueden seleccionarse para que disminuyan a medida que aumenta la distancia desde la parte superior del almacén. Esto es posible porque la parte inferior del almacén percibe aumentos más bajos de la temperatura media, y puede permitir beneficiosamente que la cámara (por ejemplo, un recipiente presurizado) permanezca con una sección transversal constante. Esta característica se aplica a un almacén para almacenar calor solamente. Para un almacén frío, se requiere un aislamiento máximo en la parte más baja donde la temperatura es más fría.
- 25 [0139] En una disposición, el almacén está configurada para funcionar a temperaturas bajo cero.
- 30 [0140] Los almacenes que operan para almacenar «frío» a temperaturas bajo cero a menudo sufren mayores variaciones de «calor específico» (es decir, los medios de almacenamiento a menudo experimentarán cambios mayores en la capacidad calorífica con la temperatura a temperaturas más bajas que a temperaturas más altas) que los almacenes que siempre operan por encima de las temperaturas bajo cero, y por lo tanto, tales almacenes se benefician más de dicha disminución.
- 35 [0141] En una disposición, el aparato de almacenamiento de calor está configurado de tal manera que durante la carga y descarga los ciclos de almacenamiento entre al menos -10 °C y -50 °C, o incluso entre 0 °C y -50 °C, y en particular entre al menos -10 °C y -100 °C (es decir, cuando se carga con «frío», el gas de entrada está a -50 °C o más frío, o incluso -100 °C o más frío, y al descargar el gas de entrada está a -10 °C o más).
- 40 [0142] En una disposición, la capacidad calorífica de los medios de almacenamiento aumenta con el aumento de la temperatura, de modo que la proporción de calor específico a 373K y calor específico a 273K es superior a 1.15, o incluso a 1.25.
- 45 [0143] En una disposición, la capacidad calorífica de los medios de almacenamiento aumenta con el aumento de la temperatura, de modo que la proporción de calor específico a 273K y calor específico a 173K es superior a 1.15, o incluso a 1.25.
- 50 [0144] El cuarto aspecto es de aplicación especial en almacenes de calor donde un frente térmico de longitud variable o larga es problemático. Una construcción de almacén cónica es beneficiosa en un aparato de almacenamiento de calor, en el que el aparato está configurado de tal manera que, durante la operación, la ruta de flujo de un gas que fluye a través de la cámara desde la entrada hasta la salida para la transferencia de energía térmica hacia o desde el medio de almacenamiento puede ser alterada selectivamente en respuesta al progreso de transferencia térmica, donde la cámara está provista de un solo pasaje de flujo de derivación que se extiende a lo largo del medio de almacenamiento que conecta la entrada de gas a la salida de gas, y que está obstruido por un controlador de flujo que comprende al menos un sistema deflector adaptado para moverse a lo largo del pasaje y bloquearlo para desviar la trayectoria del flujo de gas desde el pasaje de flujo de gas a diferentes regiones aguas abajo, a su vez, de los medios de almacenamiento.
- 55 [0145] En una disposición, un almacén cónico puede configurarse de tal manera que el control del flujo de gas se logre usando una disposición centralizada y mecánicamente simple que involucre un sistema de deflectores móviles en un pasaje de flujo de derivación que se extiende a lo largo del medio de almacenamiento, que puede desviar la ruta del flujo de gas desde pasaje de flujo de gas hasta diferentes regiones de flujo aguas abajo, a su vez, de los medios de almacenamiento. El gas seguirá una trayectoria de flujo aguas abajo a lo largo del pasaje de flujo de derivación, con preferencia a entrar en el medio de almacenamiento adyacente, que tiene una mayor resistencia al flujo que el pasaje, a menos que el sistema de deflectores obstruya el pasaje, lo que hace que su trayectoria se desvíe hacia los medios de almacenamiento.
- 60 [0146] El acceso a los medios de almacenamiento desde el pasaje se puede proporcionar de varias maneras. El pasaje puede comprender un pasaje con paredes y puede tener paredes uniformemente permeables o secciones
- 65

- 5 permeables (por ejemplo, perforadas) proporcionadas a intervalos separados (por ejemplo, regulares o irregulares) aguas abajo. Alternativamente, el paso puede ser impermeable pero provisto de aberturas o huecos, puertos o pasos proporcionados a intervalos a lo largo de sus paredes. En el caso de medios de almacenamiento particulados sostenidos dentro de una estructura de soporte, el pasaje también actúa preferiblemente como una columna para la estructura de soporte, especialmente cuando se utiliza un sistema modular. Sin embargo, en su lugar, el pasaje puede ser definido por estructuras circundantes, por ejemplo, los medios de almacenamiento (por ejemplo, si son monolíticos) o estructuras que soportan los medios de almacenamiento (por ejemplo, si son partículas, fibrosos, etc.).
- 10 [0147] En una disposición, los pasajes de flujo poco importantes se extienden lateralmente desde el paso de flujo principal en una multitud de posiciones aguas abajo correspondientes por toda su longitud, permitiendo el flujo de gas lateral a través del medio de almacenamiento. Los pasajes poco importantes de flujo que se extienden lateralmente pueden ubicarse entre las secciones correspondientes y/o estar dispuestos de manera que suministren gas desde las aberturas en los pasajes hacia lo que hay entre secciones (por ejemplo, directamente en un plénum).
- 15 [0148] En una disposición, se proporcionan plénums que se extienden lateralmente desde el pasaje de flujo principal en una variedad de posiciones aguas abajo correspondientes en toda su longitud, permitiendo el flujo de gas lateral a través de las secciones donde se encuentra el medio de almacenamiento. Los plénums pueden comprender huecos que normalmente están justo aguas arriba o abajo de los medios de almacenamiento (o su estructura de soporte), y los medios de almacenamiento (o su estructura de soporte) pueden proporcionarse en secciones, por ejemplo, pueden ser modulares. Los plénums o los pasajes poco importantes facilitan la distribución uniforme del gas a través de toda la sección transversal del medio de almacenamiento, lo que permite que el gas fluya uniformemente a través del medio de almacenamiento y, por lo tanto, minimice o evite los puntos fríos o calientes.
- 20 [0149] Un almacén cónico puede formarse beneficiosamente en esta disposición de núcleo central, donde el pasaje de flujo principal central también es una columna de soporte central de carga para la estructura restante. Como se ha mencionado anteriormente, los pasajes de suministro que se extienden radialmente hacia afuera del pasaje central pueden ser soportados opcionalmente por una columna central.
- 25 [0150] En una disposición, el aparato está configurado durante la operación, para desviar la ruta del flujo de gas desde el pasaje de flujo de gas hasta las correspondientes regiones aguas abajo, a su vez, de los medios de almacenamiento; estas pueden ser regiones superpuestas o diferentes regiones adyacentes.
- 30 [0151] Una disposición cónica se puede lograr fácilmente usando una disposición de «almacenamiento térmico en capas», donde los medios de almacenamiento y/o su estructura de soporte se dividen en secciones discretas o capas capaces de ser selectivamente expuestas a, o aisladas de, la trayectoria del flujo de gas por el sistema de deflectores, y dispuestas en las correspondientes posiciones aguas abajo a lo largo del pasaje de flujo principal. Por lo tanto, el almacén se puede dividir en capas horizontales individuales correspondientes de medios de almacenamiento térmico dispuestos alrededor del pasaje de flujo principal, al menos algunas de las cuales aumentan en el área de la sección transversal horizontal al aumentar la distancia desde la entrada/salida superior del almacén.
- 35 [0152] Algunas o todas las capas (por ejemplo, las secciones inferiores como se detalla anteriormente) pueden aumentar en la sección transversal. Esta estructura en capas también puede ser soportada por una columna de soporte central de carga.
- 40 [0153] Cuando se utiliza una construcción de almacén cónico, el sistema de deflectores móviles puede ser una válvula simple de longitud fija, ya que el estrechamiento se puede configurar para compensar completamente el alargamiento del frente que de otro modo se produciría. El deflector puede apoyarse en uno o más cables o barras, e incluir sellos alrededor de su perímetro que sean adecuados para las temperaturas de operación.
- 45 [0154] Alternativamente, el estrechamiento se puede usar simplemente para reducir la cantidad de alargamiento del frente hacia abajo del almacén, en cuyo caso aún puede ser deseable usar una válvula con una longitud que se pueda ajustar de acuerdo con el frente. Así, la válvula deflectora puede ser, por ejemplo, una válvula telescópica. La válvula puede comprender cilindros telescópicos opuestos concéntricos con caras superior e inferior controlables de forma independiente, o puede ser un deflector cilíndrico interior que se puede mover en relación con una estructura de deflector anular exterior y dentro de ella.
- 50 [0155] El sistema de deflectores puede adaptarse para bloquear el paso a fin de desviar una trayectoria de flujo de gas al medio de almacenamiento en una cara corriente arriba del sistema de deflectores.
- 55 [0156] De manera similar, el sistema de deflectores puede adaptarse para bloquear el pasaje de modo que permita que una ruta de flujo de gas emerja desde los medios de almacenamiento en una cara corriente abajo
- 60
- 65

del deflector. Las posiciones de las respectivas caras aguas arriba y abajo pueden ser ajustables de manera independiente.

5 [0157] El aparato puede comprender un sistema de control para alterar selectivamente la trayectoria del flujo de gas.

[0158] Además, se puede proporcionar un sistema de almacenamiento de electricidad que comprende un aparato de almacenamiento de calor como se ha descrito anteriormente.

10 [0159] Además, se proporciona un método para operar un aparato de almacenamiento de calor que comprende un almacén de calor cónico con un sistema de deflectores móviles como el descrito anteriormente, en el que se hace que el gas fluya a través de la cámara desde la entrada hasta la salida para transferir energía térmica hacia o desde el lugar de almacenamiento, y la ruta de flujo del gas se altera selectivamente dependiendo de la ubicación de un frente térmico que se está moviendo a través de los medios de almacenamiento.

15 [0160] En una disposición, la ruta del flujo se altera para evitar las regiones del medio de almacenamiento aguas arriba del frente térmico, en las cuales la transferencia térmica de las regiones es sustancialmente completa. En una disposición, la ruta de flujo se altera para evitar las regiones del medio de almacenamiento aguas abajo del frente térmico, en las cuales la transferencia térmica de las regiones es mínima. En una disposición, la ruta de flujo se altera de tal manera que solo pasa a través de una región de los medios de almacenamiento localizados alrededor del frente térmico. Estas alteraciones de la trayectoria pueden llevarse a cabo independientemente una de otra.

20 [0161] Además, se proporciona un método para operar un aparato de almacenamiento de calor como el descrito anteriormente, en donde el aparato se configura y opera de tal manera que durante la carga y/o descarga del almacén, un frente térmico se desplaza aguas abajo sin cambiar significativamente su longitud (por ejemplo, preferiblemente no cambia al más del 50 % de su longitud inicial).

25 [0162] El aparato de almacenamiento de energía térmica de acuerdo con cualquiera de los cuatro aspectos anteriores puede formar parte de cualquier aparato o sistema que almacene calor o frío. Tales sistemas pueden comprender sistemas de calefacción que incluyen sistemas de captación solar; sistemas de enfriamiento, incluidos los sistemas de enfriamiento nocturno, sistemas de aire acondicionado o sistemas de refrigeración, incluidos los sistemas de refrigeración cíclica basados en ciclos de vapor o ciclos de gas; o sistemas de almacenamiento de energía, incluidos sistemas de almacenamiento de aire comprimido o sistemas de almacenamiento eléctrico de calor por bombeo; o cualquier otro sistema donde esté involucrado el almacén térmico.

30 [0163] Las características descritas con respecto a uno de los cuatro aspectos anteriores, también se pueden usar en relación con otro aspecto, donde el uso de esa característica claramente no estará en conflicto con la enseñanza de ese aspecto (incluso cuando esa combinación no se haya mencionado específicamente).

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

35 [0164] Los diversos aspectos de la presente invención se describirán ahora, solo a modo de ejemplo, con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

La figura 1 es una gráfica que ilustra el avance de un frente térmico a través de un almacén de energía térmica;

40 La figura 2 es un esquema del ciclo de gas de un sistema de almacenamiento de electricidad con calor por bombeo (PHES);

La figura 3 es una vista en sección transversal vertical de un almacén de energía térmica en capas con válvulas según el primer aspecto;

45 Las figuras 4a, 4b y 4c son vistas en sección transversal del almacén de energía térmica en capas de la figura 3 que muestra el funcionamiento de las capas con válvulas a medida que el frente térmico avanza a través del almacén;

La figura 5 es una vista en sección transversal de una capa con válvulas antirretorno monoestables;

La figura 6a es una vista en perspectiva de una baldosa con válvula, y las figuras 6b y 6c son vistas en sección de la válvula cerrada y abierta, respectivamente;

50 La figura 7 es una vista en perspectiva de varias capas con válvulas de un almacén en capas de sección transversal hexagonal, según los aspectos primero y segundo;

Las figuras 8a y 8b son vistas en perspectiva ampliadas del pilar y los pilares parcialmente ensamblados y las baldosas del almacén de la figura 7;

La figura 9 es una vista en planta de una capa con válvula del almacén de la figura 7 que muestra un mecanismo de accionamiento de válvula esquemático;

55 Las figuras 10a y 10b son vistas en perspectiva de una capa con válvula alternativa para uso en un almacén en capas;

Las figuras 11a y 11b son vistas en sección de la válvula antirretorno biestable de las figuras 10a y 10b en la posición abierta y cerrada, respectivamente;

Las figuras 12a, 12b y 12c son respectivamente vistas en perspectiva que muestran cómo el mecanismo de accionamiento opera la válvula antirretorno biestable de las Figuras 10a y 10b;

5 Las figuras 13a a 13d son respectivamente vistas en respectivas de una válvula de mariposa para uso en el almacén con válvula;

Las figuras 14a, 14b y 14c, 14d son vistas en perspectiva completas y parciales de una capa con válvula con una válvula de corredera abierta y una válvula de corredera cerrada, respectivamente;

10 La figura 15 es una vista en perspectiva de varias capas con válvulas de un almacén en capas de sección transversal circular, según los aspectos primero y segundo;

La figura 16 es una vista en planta de una capa con válvula del almacén de la figura 15;

La figura 17a es una vista en sección de una cubierta impermeable al gas unida al borde de un conjunto de soporte en capas, y la figura 17b es una vista ampliada de un componente en forma de «L» que forma la cubierta, según el tercer aspecto;

15 La figura 18 es una vista esquemática en sección de un almacén de energía térmica en capas, parcialmente cónico, con capas con válvulas según los aspectos primero, segundo y cuarto;

Las figuras 19a, 19b y 19c muestran cómo un frente térmico avanza hacia abajo en el almacén de energía térmica de la figura 18;

20 Las figuras 20a y 20b son figuras comparativas que muestran cómo un frente térmico avanza hacia abajo en un almacén no cónico con un pasaje de flujo principal central que contiene un deflector móvil de longitud variable;

Las figuras 21a y 21b muestran cómo un frente térmico avanza hacia abajo en un almacén cónico con un pasaje de flujo principal central que contiene un deflector móvil de longitud variable, según el cuarto aspecto;

25 Las figuras 22a y 22b muestran cómo un frente térmico avanza hacia abajo en un almacén cónico con un paso de flujo principal central que contiene un deflector móvil de longitud fija, según el cuarto aspecto;

Las figuras 23a y 23b son vistas esquemáticas en sección transversal de una capa con una válvula de tamiz deslizante en las posiciones cerrada y abierta respectivamente, según el primer aspecto;

30 Las figuras 24a y 24b muestran vistas en perspectiva respectivas desde arriba y abajo de una única bandeja hexagonal de un conjunto de soporte en capas, con una pared exterior opcional, según el segundo aspecto, y la figura 24c muestra una bandeja hexagonal con una válvula antirretorno monoestable y pared exterior opcional;

35 La figura 25 es una vista en perspectiva de varias bandejas hexagonales de las figuras 24 en una disposición de teselado y apilado, según el segundo aspecto;

Las figuras 26a y 26b muestran vistas en perspectiva respectivamente desde arriba y abajo de una única bandeja hexagonal de un conjunto de soporte en capas, sin una pared exterior, según el segundo aspecto, y la figura 26c muestra una bandeja hexagonal con una válvula antirretorno monoestable y sin pared exterior y,

40 La figura 27 muestra varias bandejas hexagonales de las figuras 26 en una disposición de teselado y apilado, según el segundo aspecto.

DESCRIPCIÓN DETALLADA

45 Figura 2

[0165] La presente invención está destinada a mejoras en aparatos de almacenamiento térmico, y está particularmente dirigida a almacenes de calor para uso en sistemas de almacenamiento de energía.

50 [0166] Como se explicó anteriormente, la figura 2 es un esquema de un sistema PHES tal como se describe en la solicitud anticipada del solicitante, WO2009/044139. El sistema se describe más detalladamente a continuación para demostrar cómo los almacenes de frío y calor pueden funcionar en la práctica.

55 [0167] El sistema 2 es un sistema de almacenamiento de energía de ciclo cerrado reversible que se puede operar en modo de carga para almacenar energía eléctrica como energía térmica, y se puede operar en modo de descarga para generar energía eléctrica a partir de la energía térmica almacenada. El sistema comprende los respectivos dispositivos de desplazamiento positivo 12 y 14, así como un almacén caliente (alta presión) 6 y un almacén frío (baja presión) 4. Durante la carga, el dispositivo 12 comprime un gas y el gas caliente a alta presión pasa a través del almacén caliente 6, donde cede su calor, antes de volver a expandirse en el otro dispositivo 14 y pasar a una temperatura y presión más bajas a través del almacén frío 4, donde gana calor, y regresa al inicio del circuito con su temperatura y presión originales. En el modo de descarga, el gas fluye en dirección opuesta alrededor del circuito y se requiere que los dispositivos de desplazamiento positivo inviertan sus funciones. El gas entra en el almacén frío (baja presión) (la salida del almacén durante la carga ahora es una entrada) y libera calor antes de pasar, a una temperatura más baja, al dispositivo 14, donde se comprime y se pasa, a alta presión, al almacén caliente (alta presión) 6 donde gana calor, antes de que el dispositivo 12 lo expanda y lo devuelva al inicio del circuito a su temperatura y presión iniciales.

65

[0168] El sistema reversible 2 puede realizar un ciclo de carga completo o un ciclo de descarga completo, o puede revertir su función en cualquier punto de carga o descarga; por ejemplo, si la red nacional requiere electricidad, se puede interrumpir un ciclo de carga y la energía térmica almacenada se puede convertir en energía eléctrica permitiendo que el sistema se descargue.

[0169] Es posible que el sistema también deba permanecer en un estado cargado, no cargado o parcialmente cargado durante períodos de tiempo, lo que requiere que los almacenes estén bien aislados. En este sistema reversible, el gas puede ser aire o un gas inerte como nitrógeno, argón o neón. A modo de ejemplo, el almacén caliente puede operar a una presión de gas de aproximadamente 12 bar con argón y un rango de temperatura de 0 a 500 °C, y el almacén frío puede operar a una presión cercana a la atmosférica y un rango de temperatura de 0 a -160 °C.

Primer aspecto

Figura 3

[0170] La figura 3 es una vista en sección transversal vertical a través de un almacén de energía térmica 100 de construcción en capas según el primer aspecto de la invención. Este almacén está actuando como un almacén «caliente» y se muestra justo comenzando un ciclo de carga.

[0171] El almacén 100 comprende una cámara 106, que para un almacén «caliente» sería un recipiente a presión cilíndrico, que contiene una variedad de capas 101 de medios de almacenamiento térmico permeables a los gases 112 dispuestos sucesivamente aguas abajo entre una entrada de gas 102 y una salida de gas 104, de modo que el gas fluye desde la entrada de gas hasta la salida de gas a través de las capas para la transferencia de energía térmica hacia o desde los medios de almacenamiento. Todas las capas 101 son capas con válvulas que comprenden válvulas integrales 116 operables para permitir o evitar el flujo de gas de derivación a través de la válvula, dependiendo del grado de transferencia térmica en esa capa. Las válvulas 116 están montadas íntegramente en las capas, que pueden comprender medios sólidos (por ejemplo, monolitos porosos) o medios particulados soportados en bandejas o en otras bases de soporte, en cuyo caso las válvulas 116 se montan en las bandejas o en las bases de soporte.

[0172] Dividiendo el almacén de energía térmica 100 en una variedad de capas sucesivas de almacenamiento térmico aguas abajo (es decir, secciones sucesivas correspondientes aguas abajo), y luego proporcionando una o más capas con válvulas integrales, es posible controlar selectivamente el flujo de gas para sortear las capas con válvula inactivas térmicamente (válvulas abiertas). Una disposición de válvulas integrales (a diferencia de los pasajes de flujo dedicados) garantiza el menor espacio muerto dentro del almacén, lo que puede ser importante para los almacenes grandes.

[0173] Por encima de los medios de almacenamiento 112 de cada capa 101 hay un plenum 114 para la distribución lateral de gas. Los mecanismos del actuador 118 para controlar las válvulas 116 también se montan preferiblemente sobre los medios de almacenamiento en el plenum, para operar las válvulas desde arriba, especialmente donde los medios pueden contaminar o atascar los mecanismos. Dado que las temperaturas en el almacén pueden ser muy altas o muy bajas, cualquier dispositivo de accionamiento (a diferencia de los componentes de conexión, como enlaces o cables o barras) se ubica preferiblemente dentro del aislamiento 108 que está fuera de la estructura central en capas.

[0174] Las capas de almacenamiento térmico pueden formar parte de una estructura individual o una estructura que se haya ensamblado de manera modular. Las capas se pueden ensamblar un par a la vez o se pueden apilar unas sobre otras como capas individuales. Preferiblemente, la estructura comprende un conjunto de soporte en capas según el segundo aspecto en el que las capas individuales se han apilado una sobre otra desde la parte inferior hacia arriba. Esto se describe más adelante.

[0175] Normalmente, la cámara 106 será una cámara vertical con capas horizontales de almacenamiento 101 dispuestas una encima de la otra a través de las cuales el gas fluye verticalmente. En ese caso, el almacén estará configurado para funcionar de modo que la entrada se suministre en la parte superior de la cámara cuando se configura como una entrada caliente o en la parte inferior de la cámara cuando se configura como una entrada fría (para que el almacén siempre esté más caliente en la parte superior).

Figura 4

[0176] Las figuras 4a, 4b y 4c son vistas en sección transversal del almacén de energía térmica en capas de la figura 3 que ilustra el funcionamiento de las capas con válvulas a medida que el frente térmico avanza a través del almacén «caliente». Los gráficos muestran la temperatura en los medios de almacenamiento térmico.

[0177] En la figura 4a (correspondiente a la figura 3), el frente térmico ocupa las dos primeras capas de tal

manera que la transferencia térmica activa solo ocurre en esas capas. Las válvulas en esas dos capas se cierran de manera que el gas es forzado a pasar a través del medio. El gas que sale de la segunda capa ahora se ha enfriado sustancialmente a la temperatura de salida deseada y no tiene más energía térmica en exceso. Por lo tanto, las válvulas en las capas restantes se abren para que el gas pueda fluir directamente a la salida, encontrando una resistencia mínima.

[0178] La figura 4b muestra el frente aguas abajo cuando los medios de almacenamiento en las primeras tres capas han alcanzado una temperatura cercana a la temperatura de entrada caliente. Como la transferencia térmica está sustancialmente completa en esas capas, no tiene sentido forzar el gas a través del medio en esas capas, y por lo tanto las válvulas en esas capas están abiertas para permitir el flujo de derivación a través de ellas. Por lo tanto, la figura 4b muestra el gas sorteando las regiones inactivas aguas arriba y aguas abajo del frente térmico, de manera que el flujo de gas se limita al medio de almacenamiento solo en las proximidades del frente térmico.

[0179] La figura 4c muestra que la transferencia térmica activa ahora solo ocurre en las últimas cuatro capas del almacén, de manera que todas las válvulas en las capas aguas arriba están abiertas y el flujo de gas puede evitar los medios de almacenamiento en esas capas aguas arriba.

[0180] Por las razones descritas anteriormente, se ve que el frente se ensancha (ver los gráficos) a medida que avanza aguas abajo, desde dos capas activas (Figura 4a) hasta tres capas activas (Figura 4b) y luego cuatro capas activas (Figura 4c), de tal manera que inevitablemente habrá menos utilización en la sección inferior del almacén.

[0181] Las figuras 4a a 4c muestran la carga del almacén «caliente». Si bien puede cargarse hasta que esté completamente cargado, es posible revertir el flujo de gas en cualquier etapa durante este proceso y no es necesario llevar el frente hasta el final del almacén antes de comenzar la descarga. (El modo de descarga puede ser interrumpido de manera similar).

[0182] Se puede configurar una lógica de control para controlar las capas con válvulas que se basa, por ejemplo, en las temperaturas del gas entre las capas. Idealmente, la apertura o el cierre de las válvulas en capas con válvulas en la vecindad del borde delantero y el borde posterior del frente térmico se controlan de forma independiente e idealmente, cada capa con válvula se controla a sí misma de forma independiente.

[0183] Solo a modo de ejemplo, un posible esquema de control sería el siguiente:

Para cargar un almacén «caliente»

[0184]

1) Donde $T_{\text{capa Arr}}$ es la temperatura del gas a la salida de la capa específica que es la capa aguas arriba más alta de una región donde se está produciendo una transferencia térmica activa, es decir, se mide después de que el flujo haya pasado a través de los medios de almacenamiento en esa capa y la temperatura relevante es justo después de que el gas haya pasado a través de la primera capa de medio de almacenamiento que se encuentra (las capas en esa región activa tienen sus válvulas cerradas de modo que el flujo tenga que pasar a través de los medios de almacenamiento). T_{entrada} es la temperatura del gas de entrada al recipiente, y $T_{\text{entrada dif}}$ es una diferencia de temperatura elegida con respecto a la temperatura de entrada, las válvulas en esa capa deben abrirse (de modo que el flujo comience a sortear los medios de almacenamiento en esa capa específica y el borde posterior del frente se «mueva» hacia el medio de almacenamiento de la capa inferior) cuando:

$$T_{\text{capa Arr}} \geq T_{\text{entrada}} - T_{\text{entrada dif}}$$

es decir, los medios de almacenamiento en la capa se aproximan a la temperatura de entrada y la transferencia térmica está casi completa. Por ejemplo, cuando se carga un almacén caliente de 50 °C a 500 °C, T_{entrada} es 500 °C y $T_{\text{entrada dif}}$ puede ser de 10 °C, por lo que la válvula se abrirá para sortear los medios de almacenamiento en esta capa del flujo cuando $T_{\text{capa Arr}} \geq 490$ °C (es decir, 500 °C - 10 °C)

2) Donde $T_{\text{capa Ab}}$ es la temperatura a la salida de la capa específica de medios de almacenamiento que es la capa aguas abajo más baja de una región donde se produce una transferencia térmica activa (las válvulas están cerradas y el flujo debe pasar a través de los medios de almacenamiento). Se mide después de que el flujo haya pasado a través de cada capa de medios de almacenamiento y la temperatura relevante es justo después de que el gas haya pasado por la última de las capas de medios de almacenamiento donde se produce la transferencia térmica activa. Esta temperatura suele ser muy similar a la de la salida del recipiente T_{salida} . T_{inicio} es la temperatura de inicio del gas (y el sólido) en el recipiente, y $T_{\text{salida dif}}$ es una diferencia de temperatura elegida con respecto a la temperatura de inicio, debe hacerse que el borde delantero baje una capa cerrando las válvulas en la siguiente capa aguas abajo cuando:

$$T_{\text{capa Ab}} \geq T_{\text{inicio}} + T_{\text{salida dif}}$$

5 es decir, la capa ha comenzado a aumentar notablemente en temperatura con respecto a la temperatura de inicio (que normalmente es la temperatura de todas las capas debajo de esa capa). Por ejemplo, cuando se carga un almacén caliente de 50 °C a 500 °C, T_{inicio} es 50 °C y $T_{\text{salida dif}}$ puede ser de 25 °C, entonces cuando $T_{\text{capa Ab}} \geq 75 \text{ °C}$ (50 °C + 25 °C) entonces el flujo se desvía hacia abajo hacia la siguiente capa (las válvulas en esa capa se cierran) y $T_{\text{capa Ab}}$ ahora se mide después de esa capa. Con este fin, los sensores de temperatura, como los termopares, se pueden instalar a niveles individuales dentro del recipiente. Las temperaturas del recipiente de entrada y salida también se pueden medir, según sea necesario.

[0185] Para descargar un almacén «caliente»

15 3) Al revés, cuando el flujo se invierte, la salida se convierte en la entrada y el gas frío entra al almacén caliente (desde la parte inferior en un almacén vertical) para enfriarlo, se hace subir al borde posterior (o aguas arriba) del frente térmico de manera efectiva una capa abriendo las válvulas en la capa más alta aguas arriba de la región de transferencia activa (es decir, la más cercana a la entrada) cuando se haya enfriado, de modo que la temperatura justo después de la capa sea casi tan fría como la temperatura de entrada (fría) (ahora presente aguas arriba de la región de transferencia térmica activa).

$$T_{\text{capa Arr descarga}} \leq T_{\text{entrada}} + T_{\text{entrada dif}}$$

25 Por ejemplo, T_{entrada} podría ser 40 °C y $T_{\text{entrada dif}}$ podría ser de 10 °C, por lo que $T_{\text{capa Arr descarga}} \leq 50 \text{ °C}$ (es decir, 40 °C + 10 °C) De esta manera en operación normal $T_{\text{capa Arr descarga}}$ termina aproximadamente a la misma temperatura que T_{inicio} .

30 4) Se hace al borde delantero (o aguas abajo) del frente térmico subir una capa (cerrando las válvulas en la siguiente capa aguas abajo que han tenido flujo de derivación a través de ellas hasta el momento) cuando los medios de almacenamiento y, por lo tanto, el gas que abandona la capa aguas abajo inferior en la región activa (la más cercana a la salida) ha logrado enfriar una cierta cantidad a partir de la temperatura de inicio (caliente) (todavía presente aguas abajo en el resto del almacén y aproximadamente igual a la $T_{\text{capa Arr}}$ de la sección de carga 1) anterior).

$$T_{\text{capa Ab descarga}} \leq T_{\text{inicio caliente}} - T_{\text{salida dif}} \text{ (por ejemplo: } 480 \text{ °C} = 490 \text{ °C} - 10 \text{ °C)}$$

Figura 5

40 [0186] La figura 5 es una vista en sección transversal ampliada de una capa con válvula 150 con válvulas antirretorno monoestables 162 (mecanismo de accionamiento no mostrado), tal como se muestra en el almacén de la figura 3. La capa comprende una capa base 152 con poros 160 para flujo de gas, pilares de soporte 156, una pared de soporte 154 para retener los medios de almacenamiento 158 y válvulas 162.

45 [0187] La válvula monoestable se muestra en la posición cerrada obstruyendo los pasajes de derivación 164. La válvula monoestable podría ser accionada por un mecanismo similar al representado en la figura 3 o descrito respecto a la figura 9 a continuación. Si el actuador fallara, se apreciará que la gravedad actuará para hacer que las tapas de las válvulas antirretorno 162 caigan a la posición cerrada, lo cual es preferible, ya que el resultado simplemente será una leve caída de presión en el almacén.

50 Figura 6

55 [0188] La capa con válvula puede comprender una capa base individual o la capa base puede estar formada por baldosas. La figura 6a es una vista en perspectiva de una baldosa triangular con válvula 700 preferida. La baldosa con válvula 700 tiene poros 714 para el flujo de gas, un marco de caja de válvula vertical 702 montado en o integrado con la baldosa, y una tapa de válvula 704 que está montada de manera pivotante alrededor del punto de giro 710 en el marco. La tapa de la válvula y el actuador (no se muestran) están dispuestos de tal manera que la válvula sea monoestable y ocupará la posición cerrada en caso de que se produzca un fallo en el actuador (el tope 708 evita que la tapa alcance una posición completamente vertical).

60 [0189] Las figuras 7, 8 y 9 se describen a continuación.

Figuras 10a y 10b

[0190] Las figuras 10a y 10b muestran una capa con válvula alternativa 200 para uso en el almacén con capas. La capa 200 comprende una base porosa de una sola pieza 202, unos pilares de soporte 210 y una pared de soporte exterior 204 para retener medios de soporte térmico (no mostrados) que se rellenarían en la capa.

5 [0191] Los pilares 210 actuarán para soportar la siguiente capa superior y pueden estar separados o formados íntegramente con la capa base, y pueden estar alineados con (y preferiblemente asentados dentro de) pilares en la capa inferior.

10 [0192] En esta disposición, se muestran cuatro válvulas antirretorno biestables grandes 206 que se extienden a través de la capa, cada una de las cuales comprende una tapa 212 móvil accionada mediante un mecanismo de actuación 208. Ese mecanismo se monta a través de la capa sobre el nivel del medio de almacenamiento para proteger el mecanismo.

15 Figuras 11a y 11b

[0193] Haciendo referencia a las figuras 11a y 11b, son vistas en sección ampliadas de la válvula antirretorno biestable. La válvula comprende una tapa delgada 234 en forma de «L» de metal que comprende un panel inferior 234b que pivota alrededor del punto de giro 238 en la base de un marco de caja 232, y un panel superior 234a.

20 [0194] En la posición abierta de la figura 11a, la tapa 234 se mantiene vertical y el gas puede fluir a través del marco de caja 232. En la posición cerrada, la tapa se inclina y sella las caras de sellado inclinadas 236 que recorren los bordes del marco 232. Una ventaja de este tipo de válvula sobre una válvula deslizante es que es menos probable que las superficies de sellado inclinadas permitan que el polvo se asiente sobre ellas. La tapa se equilibra, en este caso doblando una sección 234a hacia atrás, de manera que el centro de gravedad de la tapa pase sobre el punto de giro cerca del punto medio de su arco. Para accionar la válvula, simplemente tiene que inclinarse por el centro y encajará en su lugar de manera natural. La tapa 234 no está unida rígidamente al punto de giro 238, de manera que cuando se inclina hacia la posición cerrada, puede alinearse contra todas las caras de sellado; el punto de giro está adicionalmente protegido de la contaminación con polvo por el panel superior 234a. Este estilo de válvula es efectivo y fiable, pero simple de fabricar.

Figuras 12a, 12b y 12c

35 [0195] Un posible sistema de accionamiento para la válvula biestable 234 se muestra en las figuras 12a a 12c. Se utiliza una biela 240 para conectar todas las válvulas, a través de las pequeñas pestañas 245 en la parte superior de la tapa 234a, de modo que un solo actuador pueda operar todas las válvulas juntas. El actuador es un gancho en forma de C 242, en el extremo de una barra (apoyada) 243 que se extiende a través de la pared de la capa a otro sistema de actuación, y actúa sobre los enlaces cruzados 246 entre las válvulas en un extremo del biela 240. Como se muestra en las figuras 12a, 12b y 12c, para abrir las válvulas, el actuador se movería hacia la izquierda, empujando la biela 240 hasta que las tapas 234 de la válvula pasen por el centro y caigan a la posición abierta. El actuador solo tendría que moverse lo suficiente para empujar las tapas de la válvula hacia el centro, minimizando así su recorrido, y la anchura del gancho 244a/244b sería tal que cuando las tapas de la válvula caigan a la posición abierta, el enlace cruzado de la biela 246 termina justo enfrente de la cara opuesta 244b del gancho.

45 Figuras 13a a 13d

50 [0196] Las figuras 13a-13d son vistas en perspectiva respectivamente de una válvula de estilo mariposa también adecuadas para uso en el almacén con válvula para controlar el flujo de gas entre las capas. Cuando el medio de almacenamiento comprende un medio particulado, este tipo de válvula tiene la ventaja de que no tiene un punto de giro inferior en el que el medio puede quedar atrapado: más bien, cuando se abre esta válvula, cualquier medio de almacenamiento que se haya acumulado en la válvula puede caer

55 [0197] La válvula 320 comprende una tapa de válvula de mariposa rectangular 300, como se muestra en la figura 13a, con una columna central cilíndrica 302 que actúa como un eje de giro. La tapa 300 está montada dentro de un marco de caja 304 de sección transversal rectangular que tiene extremos superior e inferior abiertos, como se muestra en la figura 13b, para permitir el flujo vertical de gas a través del mismo. El marco tiene paredes laterales opuestas 306 con una protuberancia en forma de U 308 a mitad de camino en la cual la columna 302 de la tapa está montada de manera pivotante.

60 [0198] Las bridas en ángulo 310 se extienden hacia arriba y hacia abajo en las paredes laterales 306 del marco para proporcionar caras de sellado contra las cuales la tapa 300 puede sellarse en la posición cerrada, mientras que el otro par de paredes laterales 316 del marco también tienen bridas horizontales diagonalmente opuestas 312 y 314 en sus bordes superior e inferior actuando como caras de sellado adicionales.

65 [0199] La figura 13c muestra la válvula montada 320 en la posición abierta. Para abrir la válvula 320, la tapa 300

se gira de manera que se asiente verticalmente en el marco contra el tope 318, permitiendo que el gas pase a ambos lados de la tapa. Esto podría lograrse mediante un actuador que tira de un cable unido a la parte superior de la tapa, de manera similar a la válvula antirretorno monoestable.

5 [0200] El tope 318 evita que la válvula pase por el centro. Es deseable tener una válvula monoestable 320 donde la posición estable esté cerrada, y esto se puede lograr mediante la ubicación del tope 318 (p. ej., ligeramente descentrado), o contrapesando la mitad superior de la tapa para que la posición abierta sea inestable (por ejemplo, añadiendo un contrapeso). Dado que la mitad superior de la tapa debe sobresalir del marco cuando se conecta a un cable de accionamiento, el pesaje de la tapa superior se puede lograr simplemente haciéndola más
10 larga que la mitad inferior.

[0201] Para cerrar la válvula 320, la tapa 300 se gira en cierto ángulo (generalmente entre 15° y 45°, preferiblemente alrededor de 20°), de modo que la solapa se sella contra las caras de sellado alrededor del borde del marco. La mitad superior de la tapa 300 se sella en su cara inferior (tal como se ve desde arriba) y la
15 mitad inferior se sella en su cara superior.

[0202] Las válvulas de mariposa individuales se pueden asentar en baldosas individuales de una capa de soporte de medios de almacenamiento térmico, o las válvulas de mariposa alargadas pueden asentarse en canales que se extienden a través de la capa de soporte de medios de almacenamiento térmico (por ejemplo, extendiéndose a través de o reemplazando varias baldosas).
20

[0203] Cualquier válvula en el almacén debe estar lo más estanca posible en la posición cerrada. Para este fin, la columna o el husillo podrían incluir una protuberancia totalmente rebajada dentro de las paredes laterales del marco, de modo que no haya una vía de fuga directa en el pivote, sino que el gas debe fluir hacia el rebaje y volver a salir, lo que aumenta la caída de presión y mejora el sellado.
25

Figuras 14a a 14d

[0204] Las figuras Las figuras 14a a 14d muestran una capa 400 con válvula con una única válvula deslizante 402. Cada capa 400 con válvula comprende dos regiones semicirculares, en las que se mantiene el medio 404 de almacenamiento, y que están separadas por un canal central 406 libre de medios de almacenamiento y en el que se asienta la válvula. La válvula se muestra en la posición abierta en las figuras 14a y 14b (vista en sección transversal), por lo que el gas puede sortear los medios de almacenamiento. La válvula consiste en un marco insertado en la capa 400 que comprende una placa base con múltiples aberturas 408 que define un conjunto de aberturas 410. Una válvula deslizante 412 comprende un marco rígido en forma de escalera que soporta una serie de placas planas individuales (las placas están dimensionadas para cubrir las aberturas en la placa base 408, como se muestra en la posición cerrada en las figuras 14c y 14d), y se empuja o se tira del marco mediante un mecanismo de accionamiento (el mecanismo de accionamiento estaría radialmente fuera de la capa y no se muestra en figura); las placas están diseñadas para ser flexibles (por ejemplo, al estar unidas al marco a través de flexuras) para lograr un buen sellado contra la placa base 408 y para adaptarse a cualquier irregularidad. También se pueden usar otras disposiciones de capa con válvula en las que un conjunto de aberturas de válvula insertadas en la capa están cubiertas por un conjunto correspondiente de placas de válvula individuales soportadas por un marco rígido y accionadas por al menos un mecanismo de accionamiento.
30
35
40

45 [0205] Las figuras 15 y 16, 17 y 18 a 22 se describen a continuación.

Figuras 23a y 23b

[0206] Las figuras 23a y 23b muestran, como mecanismo de válvula alternativo, una sección transversal de una válvula de tamiz deslizante 420 que puede colocarse en una capa sobre el medio de almacenamiento, extenderse por toda la sección transversal horizontal de una capa.
50

[0207] Una válvula de tamiz ligera 420 comprende un asiento de válvula estático 421 sustancialmente plano (preferiblemente metálico) perforado con una serie de aberturas y una placa de tamiz 422 de válvula, también perforada con una serie de aberturas, que descansa sobre el asiento de la válvula y está configurada para su desplazamiento lateral para abrir y cerrar la válvula. Una proporción de las aberturas en el asiento de la válvula se comunica con los pasajes de derivación 423 a través de la capa de medios de almacenamiento adyacentes, las aberturas restantes se comunican con los medios de almacenamiento adyacentes 424. Con la pantalla 422 en una primera posición, como se muestra en la figura 23a, las aberturas en el asiento de la válvula 421 que se comunican con los pasajes de derivación 423 están desalineadas con las aberturas dentro del tamiz de la válvula 422, de manera que los pasajes de derivación 423 están bloqueados por las áreas sólidas del tamiz. Con la pantalla 422 en una segunda posición, como se muestra en la figura 23b, las aberturas en el asiento de la válvula 421 que se comunican con los pasajes de derivación 423 están alineadas con las aberturas dentro del tamiz de la válvula 422, de manera que los pasajes de derivación 423 no están bloqueados por las áreas sólidas del tamiz. En dicha primera posición, el flujo de gas pasará a través de los medios de almacenamiento y se evitará que pase a través de dichos pasajes. En dicha segunda posición, el flujo de gas pasará por lo tanto sin
55
60
65

obstrucciones a través de la capa de almacenamiento, a través de dichos pasajes, y se evitará que pase a través de los medios de almacenamiento. Si bien la placa de la válvula incluirá áreas sólidas que cubren algunos de los medios (por ejemplo, la válvula puede tener solo un 20 % de área abierta), esto no presentaría una resistencia al flujo significativa en comparación con la resistencia mucho mayor presentada por los medios de almacenamiento en sí.

Segundo aspecto

[0208] De acuerdo con el segundo aspecto, que ya no está dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas, un aparato de almacenamiento de energía térmica se construye utilizando un conjunto de soporte en capas para soportar medios de almacenamiento térmico permeables a los gases, dicho conjunto comprende una variedad de capas de almacenamiento térmico, cada una de las cuales soporta medios de almacenamiento térmico y están montadas unas sobre otras para formar una pila de capas.

[0209] Como se explicó anteriormente, el uso de un almacén dividido en capas separadas brinda ventajas en términos de poder seleccionar qué partes del almacén están expuestas al flujo de gas. Sin embargo, la construcción de un almacén de calor en capas puede ser problemático cuando el almacén puede superar, por ejemplo, entre 2 y 4 m de diámetro o altura, el peso de los medios de almacenamiento almacenados puede superar las 50 o 100 toneladas métricas, donde los efectos de expansión térmica pueden llevar a una expansión del orden de decímetros y, sin embargo, donde se requiere sellado para evitar el flujo de derivación del gas. Una construcción de almacén modular en la que las capas se construyen una encima de la otra para formar una pila (de modo que las capas inferiores no se pueden quitar) se ha encontrado flexible y eficaz para ayudar con estos problemas.

[0210] Refiriéndonos nuevamente a la figura 5, un aparato de almacenamiento completo puede componerse construyendo capas sucesivas, como la capa mostrada, unas encima de las otras, según el segundo aspecto. Estas se pueden agregar como capas completas (por ejemplo, para almacenes pequeños), o las capas se pueden ensamblar a partir de componentes. Cada capa 150 puede comprender una base 152, pilares 156 (o arcos u otros soportes verticales) para la capa superior, una pared exterior 154 si el medio de almacenamiento 158 necesita ser retenido (por ejemplo, cuando se usa material particulado en lugar de monolítico), y opcionalmente válvulas 162 y cualquier mecanismo de accionamiento requerido. Cuando se usan soportes verticales de carga, el peso de las capas superiores se puede cargar a través de la estructura mediante los soportes verticales (cargándolos solo por compresión) y la base de cada capa solo necesita soportar el peso del medio de almacenamiento en esa capa en particular, reduciendo así las cargas de flexión en la estructura base. Una construcción modular también permite un fácil transporte al sitio y su posterior montaje, ya que un almacén puede ser muy grande.

Figura 7

[0211] La figura 7 es una vista en perspectiva de parte de un almacén de calor con un conjunto de soporte en capas de acuerdo con el segundo aspecto. El conjunto de soporte en capas también comprende capas con válvulas y, por lo tanto, también se construye de acuerdo con el primer aspecto de la invención. (El mecanismo de accionamiento no se muestra).

[0212] En esta disposición preferida, como en la figura 5, cada capa comprende una base, pilares de soporte (para la siguiente capa) una pared de soporte y una válvula integral en la capa.

[0213] La base de la capa se compone de una serie de mosaicos triangulares (equiláteros), con cada mosaico estándar 740, o mosaico con válvula 700 soportado en sus tres vértices por los pilares 720 de la capa inferior (ver figuras 8a y 8b). Al usar baldosas triangulares apoyadas en tres puntos, se pueden acomodar pequeñas diferencias en las alturas de cada soporte, a la vez que se mantiene cada baldosa totalmente apoyada. (Tres puntos siempre definirán un plano, pero con más de tres apoyos ya no se define un plano y puede dar lugar a una carga desigual de los soportes y ondulaciones en las baldosas). Dado que las baldosas son triángulos equiláteros, se pueden colocar seis baldosas alrededor de cada soporte para formar hexágonos. Estos hexágonos se pueden modelar hacia afuera para formar una base hexagonal grande, como se muestra en la vista en planta de la figura 9 (algunas baldosas individuales llenarán las esquinas y los soportes alrededor del borde exterior solo llevarán dos o tres baldosas). Un hexágono regular es la forma que llenará de manera más efectiva el recipiente cilíndrico del almacén y se puede formar a partir de triángulos equiláteros en mosaico.

Figura 8

[0214] Las figuras 8a y 8b son vistas en perspectiva ampliadas que muestran cómo se montan los pilares y las baldosas (estándar) 740. Cada baldosa tiene poros para permitir que el gas pase a través de la base hacia la capa inferior y un perfil cóncavo en cada vértice para permitir que se coloque alrededor de un pilar cilíndrico 720. En la parte inferior de cada baldosa, en cada vértice, se proporcionan las orejetas de ubicación 725. Estas se ubican en un rebaje anular de 360 ° o canal 728 proporcionado en una base o pie 724 en cada pilar, cuyo canal

está rodeado por un borde anular que se extiende circunferencialmente (360°) con tamaño para apoyarse y soportar el lado inferior restante de la baldosa. Estas orejetas 725 permiten una ubicación más precisa de las baldosas en los pilares y ayudan a unir toda la estructura, haciendo que las baldosas actúen como enlaces cruzados entre las columnas de los pilares. También es beneficioso colocar las baldosas en un espacio para pies de 360°, ya que esto proporciona un anclaje sólido a los pilares, de manera que no se deben desplazar mediante el relleno posterior con medios de almacenamiento. Los pilares (o soportes de capa intermedia) 720 comprenden cada uno en sus extremos superiores una espiga 722 que se aloja en un orificio correspondiente en la parte del pie 724 del pilar anterior para colocar los pilares uno encima del otro. Por lo tanto, los pilares están alineados en todo el almacén formando columnas de soporte. Tampoco hay posibilidad, con esta disposición (es decir, sin huecos expuestos) de que el relleno posterior interfiera con el ajuste de acoplamiento entre pilares montados unos sobre otros (ya que el medio no puede contaminar los postes 722).

[0215] Las baldosas también pueden incluir nervaduras de refuerzo en su parte inferior para ayudar a endurecer las baldosas y reducir la flexión cuando se cargan con medios de almacenamiento. Sin embargo, la carga que tendrá que soportar cada baldosa debe ser bastante baja y solo debe corresponder al peso del medio de almacenamiento directamente sobre ella.

[0216] Para minimizar la resistencia al flujo de gas, los poros en las baldosas 740 pueden ser similares o más grandes que el tamaño de partícula promedio de los medios de almacenamiento, en cuyo caso se colocará una malla fina sobre la base (probablemente de acero inoxidable) para evitar que las partículas caigan a través de la capa inferior.

[0217] La válvula en las capas está provista de baldosas con válvula 700, que se han descrito en relación con el primer aspecto anterior (véanse las figuras 6a a 6c) y que están alineadas en las capas correspondientes para proporcionar pasajes alineados con las aberturas de las válvulas que se comunican con los plenums entre las capas.

Figura 9

[0218] La figura 9 es una vista en planta de una capa con válvula hexagonal que muestra el mecanismo de accionamiento de la válvula para operar las válvulas. El mecanismo comprende un solo actuador 750 que se montaría en el aislamiento fuera del conjunto de soporte en capas. Cada válvula sería operada por un par de cables 754 que tiran por igual a ambos lados de la parte superior de cada tapa de la válvula, los pares de cables se unen a las barras de conexión 752 dispuestas ortogonalmente que son movidas por el actuador directamente o por engranajes. Preferiblemente, las bielas de conexión y los cables del mecanismo de accionamiento forman un marco de balancín o de ecualización, a saber, un mecanismo en el que las fuerzas pueden distribuirse uniformemente a través de engranajes y que comprenden al menos un submarco de ecualización pivotado en un punto de giro en o cerca de su centro, aunque se pueden proporcionar otros pares de tripletes de submarcos de ecualización aguas abajo; por lo tanto, cuando se aplica una fuerza al pivote mediante el actuador, se aplica una fuerza opuesta desde las válvulas a través de los engranajes del marco de ecualización, lo que mejora el accionamiento de múltiples válvulas.

[0219] El mecanismo de accionamiento completo se puede ubicar en una capa en el plenum por encima del medio de almacenamiento (como se muestra en la figura 3). Preferiblemente, las válvulas se abrirán cuando el actuador 750 tire de los cables. Para cerrar las válvulas, el actuador libera la fuerza y las válvulas, de manera natural (o con la ayuda de un resorte de retorno) volverán a su posición cerrada. Figura 7 (continuación)

[0220] La figura 7 también muestra una estructura de pared 780/770 para contener los medios de almacenamiento en cada capa. La pared puede estar formada por una serie de piezas entrelazadas que consisten en postes cilíndricos 780 (similares a los soportes centrales) con una sección plana 770 que se extiende desde ellos. Los postes cilíndricos 780 también tienen una ranura en ellos, dentro de la cual puede ubicarse la sección plana 770 de una pieza de pared adyacente. De manera similar a los soportes centrales, los postes de pared 780 en una ranura de la capa en los postes de la capa de abajo en virtud de espigas que se extienden hacia abajo en sus bases y un orificio correspondiente en sus caras superiores. Los medios de almacenamiento generarán una presión hacia el exterior en las paredes, lo que hará que las secciones planas presionen contra los bordes internos de la ranura en el poste en el que se enclavan. Esto debería proporcionar un sellado razonablemente bueno para evitar que el gas salga a través de las paredes en estos puntos. Para sellar a lo largo de los bordes superiores de las paredes, se podría colocar una capa delgada de fieltro resistente al calor (por ejemplo, basalto) para actuar como una junta y quedar cubierta en el sitio cuando se coloca la siguiente capa.

[0221] Las partículas compactadas contra una pared lisa generalmente presentarán una trayectoria de resistencia más baja para el flujo de gas en comparación con las partículas que se alejan de la pared. En los almacenes, este efecto puede hacer que el gas fluya preferentemente hacia superficies lisas y evite la mayoría de los medios de almacenamiento. Texturizar las superficies verticales con un efecto o textura de superficie aumentará la ruta del flujo a lo largo de ellas y evitará flujos de borde indeseables.

[0222] La estructura del almacén puede estar hecha de componentes metálicos (por ejemplo, acero dulce o inoxidable), por ejemplo, para un almacén «frío», pero el metal presenta varias dificultades, especialmente a temperaturas elevadas, como la fluencia o la expansión térmica. El acero se expandirá en aproximadamente un 1 % entre la temperatura ambiente y 500 °C, por lo que un almacén de 2 m de diámetro, por ejemplo, se expandirá en aproximadamente 2 cm. Este nivel de expansión podría presentar problemas como el estiramiento o rasgado del aislamiento alrededor del almacén, o la distorsión de la estructura, especialmente porque la estructura no se calentará de manera uniforme (una onda de expansión pasará por el almacén cuando el frente térmico pase por el almacén).

[0223] Los materiales preferidos a partir de los cuales se construye la estructura de almacenamiento son materiales moldeables que pueden convertirse en componentes estructurales adecuados para las estructuras de almacenamiento en frío o caliente. Los almacenes calientes usarían refractarios moldeables; los refractarios moldeables preferidos son moldeables bajos en cemento, moldeables ultrabajos en cemento o moldeables sin cemento. Estos tres tipos de moldeables han sido clasificados por ASTM como: Bajo en cemento que contiene del 1.0 % al 2.5 % de CaO; ultrabajo en cemento del 0.2 % al 1.0 % de CaO; moldeables sin cemento con hasta el 0.2 % de CaO. Estos materiales se utilizan comúnmente en la industria del acero para revestir carros y puertas de hornos. Tienen muchas propiedades que los hacen muy adecuados para la estructura del almacén, como alta temperatura de servicio (> 1000 °C), alta resistencia a la compresión (60-150 MPa), buena resistencia a la tracción (80 - 300 MPa), baja conductividad térmica (1 -2 W/mK), y expansión térmica muy baja (0.4 - 0.7 % entre temperatura ambiente y 1000 °C). La baja expansión térmica hace que estos materiales sean particularmente atractivos, ya que esencialmente elimina todos los problemas asociados con la mayor expansión de los materiales metálicos. La baja expansión térmica también los hace más resistentes al ciclo térmico, lo cual es beneficioso para los almacenes. Dado que estos materiales también se pueden moldear, muchos componentes con formas diferentes pueden producirse en masa fácilmente a partir de estos materiales, incluyendo baldosas, pilares, marcos de válvulas y secciones de pared.

[0224] Aunque estos materiales están diseñados para el uso a altas temperaturas, también pueden usarse para la estructura interna del almacén frío. La principal preocupación para el almacén frío es el agua residual en los materiales congelados y provocan la formación de grietas. Sin embargo, estos materiales en particular (es decir, cementos refractarios) están hechos con una cantidad relativamente baja de agua (aproximadamente un 8 %, en comparación con aproximadamente el 20 % para el cemento normal) y se pueden cocer después de la fundición para eliminar el agua residual.

[0225] Para construir una capa (encima de una capa existente), los soportes primero se colocarían encima de los soportes de la capa inferior y luego se colocarían las baldosas triangulares estándar y con válvula. Después de colocar todas las baldosas, la pared exterior se colocaría en su sitio y se desplegaría la malla metálica. Finalmente, los medios de almacenamiento se pueden verter en la capa y el nivel de rastrillado.

[0226] Dado que todos los componentes en esta disposición serán relativamente pequeños y livianos, no deberían ser necesarias grúas o equipos de levantamiento pesado. Otra ventaja de la construcción de un almacén modular es que la altura del almacén no es fija y se pueden añadir capas para que coincidan con la capacidad de almacenamiento térmico requerida. Si es necesario, los soportes en la capa inferior pueden necesitar un diámetro mayor que los de las capas superiores para reducir los esfuerzos de compresión resultantes de la carga creciente.

[0227] Si bien el conjunto de soporte en capas se ha descrito con controladores de flujo que comprenden capas con válvulas, también se pueden proporcionar otros pasajes de flujo y controladores de flujo asociados a intervalos seleccionados aguas abajo en la cámara que permiten que las capas posteriores seleccionadas del conjunto de soporte se aislen o expongan a la trayectoria del flujo de gas. Los controladores de flujo pueden configurarse para actuar automáticamente, por ejemplo, en respuesta a los cambios de temperatura detectados a partir de sensores incorporados, o ser controlado por un sistema de control que altera selectivamente la trayectoria del flujo de gas durante la operación, por ejemplo, dependiendo de la ubicación del frente térmico. El sistema de control puede incluir sensores u otros sistemas de retroalimentación que proporcionan información al sistema de control en cuanto al grado de progresión de la transferencia térmica dentro de los medios de almacenamiento; estos pueden proporcionarse dentro/fuera del almacén térmico a lo largo de su longitud para controlar la posición del frente térmico dentro de la cámara y/o en la salida para medir la temperatura del gas de salida.

Figuras 15 y 16

[0228] La figura 15 es una vista en perspectiva de una serie de capas con válvula de un conjunto de almacenamiento en capas 500 de sección transversal circular, según los aspectos primero y segundo.

[0229] El conjunto 500 de soporte en capas es similar al de la figura 7 con las baldosas porosas estándar 740 y las baldosas porosas con válvula 700 entrelazadas y soportadas por los pilares 720 para formar una estructura

autoportante. Sin embargo, la periferia del conjunto en capas se ha adaptado mediante la introducción de segmentos de pared/base integral porosa curvada 502/504 para cambiar la sección transversal hexagonal a una sección transversal circular, como puede verse en la figura 16, que es una vista en planta que muestra los seis segmentos de pared 502/504.

5

[0230] Los segmentos de pared curvados 504 incluyen una espiga descendente 514 en sus caras inferiores que se aloja dentro de un orificio correspondiente 512 en la cara superior del segmento de pared 504 en la capa de abajo, de modo que los segmentos de pared se apilan unos sobre otros. De manera similar a los pilares de soporte, los rebordes ahuecados 516 se suministran en los segmentos de pared para enclavar y soportar las baldosas en sus vértices.

10

[0231] Los segmentos de pared 504 tienen caras superior e inferior 510 anchas que proporcionan una gran superficie de interfaz de sellado cuando se apilan unas sobre otras. Esta interfaz que se extiende horizontalmente está dispuesta para estar por debajo del nivel de los medios de almacenamiento en una capa (una vez que la capa se ha vuelto a rellenar) de modo que cualquier gas que intente salir de la estructura central a través de espacios en la interfaz todavía tenga que pasar por los medios de almacenamiento. Las caras de sellado tienen varias ranuras 518 en ellas provistas de sellos (no mostrados) y también pueden interactuar con una cubierta estanca a los gases que puede colocarse como en un sándwich entre los segmentos de la pared y ser soportada por ellos, para proporcionar un obstáculo adicional al escape de gases. Esto se describe con más detalle en las figuras 17a y 17b más adelante.

15

20

Figuras 17a y 17b

[0232] Las figuras 17a y 17b ilustran un concepto preferido para sellar las capas de almacenamiento térmico dentro de una cubierta 600 estanca al gas que limita el flujo de derivación vertical entre la periferia de las capas de almacenamiento térmico y la pared interior 617 de la cámara. La cubierta se describe con respecto a un conjunto de soporte en capas, como se ha descrito anteriormente.

25

[0233] Como resultado de la energía requerida para empujar el gas a través de los medios de almacenamiento, generalmente habrá una diferencia de presión entre los dos extremos del almacén. Por lo tanto, el gas que puede escapar al área que rodea la estructura central puede usar este espacio para fluir a lo largo del almacén y evitar las capas de almacenamiento térmico. El propósito de este concepto de sellado de bordes es doble; en primer lugar para proporcionar un sello hermético a los gases en la interfaz entre las secciones de pared de las capas adyacentes, minimizando así el escape de gas de la estructura central; en segundo lugar, para minimizar la longitud del almacén que puede ser sorteada por cualquier gas que se escape.

30

35

[0234] La figura 17a muestra una vista esquemática del concepto de sellado del borde del almacén utilizando una membrana delgada de metal (p. ej., acero dulce o acero inoxidable, con un grosor de 0.5 a 1 mm) que sella y rodea la estructura central del almacén, es decir, las paredes de soporte 602. La cubierta o membrana 614 está formada por secciones de membrana de chapa metálica 606 que se extienden circunferencialmente, con una sección transversal en forma de L, como se muestra en la figura 17b. Las secciones metálicas 606 están formadas en curvas cóncavas (para seguir la pared exterior circular de la estructura central) con el uso de un aparato de doblado de rollos y las secciones adyacentes podrían soldarse entre sí a lo largo de uniones que se extienden verticalmente.

40

45

[0235] A medida que se acumula cada capa del almacén, la parte horizontal de una sección de chapa metálica 606 se intercala entre la pared de cemento 602 de la capa actual y la capa superior (ver figura 17a). Las piezas de la pared de cemento 602 tienen secciones superiores e inferiores 604 más anchas, para mayor soporte y sellado, que tienen varias ranuras provistas de sellos 620. Cuando la sección horizontal de chapa metálica se sujeta entre las piezas de pared 604, los sellos actúan para minimizar el gas que escapa en la interfaz de la pared. Como el metal es delgado, puede deformarse ligeramente alrededor de la ranura/sello para mejorar el sellado. Este método de sellado de bordes también debe permitir el movimiento relativo de las secciones de pared adyacentes, como resultado de la expansión/contracción térmica entre las respectivas capas de almacenamiento a medida que el frente térmico avanza a través del almacén. Si cualquiera de las secciones de pared 602 se mueve en relación con la otra, debería poder deslizarse sobre el metal, pero sin afectar al sello de gas.

50

55

[0236] El borde interior de la parte horizontal del metal incluye una brida hacia abajo 608 aflojada dentro otra ranura 622 en la cara superior de la pared de cemento ensanchada 604, permitiendo así acomodar cualquier movimiento o expansión/contracción del metal.

60

[0237] Las secciones de metal en forma de L 606 de cada capa se unen entre sí mediante una junta de nervadura. Con este fin, en la parte superior e inferior de la parte vertical de las secciones de chapa 606 se proporcionan perfiles curvados superpuestos 612 y 610. El perfil curvo en la parte superior de una sección 612 se superpone al perfil curvo 610 en el borde inferior de la sección anterior. Una herramienta llamada «cerradora»

65

se mueve alrededor de la parte exterior de las secciones metálicas 606 para «cerrar la junta», haciéndola hermética al gas y evitando que el gas se escape.

[0238] Cualquier gas que escape a través del sello interno (muro de cemento) 622/620 en una capa determinada no podrá pasar más allá de la siguiente capa a lo largo del almacén gracias a los sellos de la siguiente capa. Se proporcionan algunos orificios de respiración de diámetro pequeño (1-2 mm) 616 en las partes horizontales del metal para permitir la eculización de la presión entre las secciones correspondientes dentro de la cubierta, pero su pequeño diámetro introduciría suficiente resistencia para evitar flujos de derivación excesivos a lo largo de la cubierta.

Figura 18

[0239] La figura 18 muestra un almacén de energía térmica 100 con capas con válvulas en un conjunto de soporte en capas similar al de la figura 3, excepto que tiene parcialmente forma cónica. Después de las dos capas superiores de medios de almacenamiento, las siguientes ocho capas del conjunto se estrechan hacia afuera en sección transversal desde la parte superior del almacén para acomodar más medios de almacenamiento 112' en cada capa y, por lo tanto, controlar el alargamiento del frente. La cantidad de aislamiento 108' dentro de la cámara 106' se reduce con la distancia desde la parte superior después de las dos capas superiores.

Figuras 19a, 19b y 19c

[0240] Las figuras 19a, 19b y 19c muestran cómo el frente térmico avanza hacia abajo en el almacén sin ningún alargamiento notable del frente térmico, que permanece en dos capas activas en todo el almacén. Las figuras 20a y 20b son figuras comparativas que muestran vistas en sección de cómo un frente térmico avanza hacia abajo en un almacén no cónico con un pasaje central para el flujo de derivación, donde el patrón de flujo se controla mediante un deflector móvil de longitud variable, que puede desplazarse por el pasaje con el frente y permitir que el flujo acceda o sortee a un número ajustable seleccionado de capas adyacentes. Esta disposición no está dentro del cuarto aspecto ya que el almacén no es cónico, pero se muestra con fines comparativos.

[0241] Las figuras 20a y 20b muestran el almacén en funcionamiento con 3 y 9 capas activas 800, 802, respectivamente, formadas por un movimiento relativo hacia abajo de un deflector cilíndrico sólido interno 804 dentro de una estructura de deflector anular exterior 806. Este último se muestra con una parte parcialmente sombreada ya que está configurado (en este ejemplo) para indicar que esa parte es sólida. Por lo tanto, es impermeable al flujo de gas lateralmente en el área sólida y puede bloquear el paso del flujo de gas por sí solo; el resto de la estructura anular 806 está abierta pero con particiones horizontales sólidas como antes. Ni la parte abierta y estructurada del deflector 806 ni el deflector cilíndrico sólido 804 pueden bloquear el flujo de gas por sí solos, pero cuando están alineados entre sí, pueden hacerlo en el pasaje. Por lo tanto, el almacén debe usar un mínimo de tres capas activas para la transferencia térmica en cualquier momento de este ejemplo.

[0242] Así, haciendo referencia a los gráficos, a medida que el frente térmico se desplaza en el almacén, se ensancha, es decir, el número de capas donde la transferencia térmica está activa aumenta y la distancia de separación entre el inicio y el final del frente térmico aumenta. Debido a que se está utilizando una válvula deflectora móvil con una longitud ajustable, es posible mover la válvula con la parte frontal y hacer coincidir su longitud con la longitud del frente térmico para que las capas aguas arriba, por ejemplo, no sean sorteadas prematuramente. Por lo tanto, la figura 20a muestra el almacén en las primeras fases del ciclo de carga cuando el frente térmico todavía está cerca de la parte superior del almacén y solo se extiende sobre tres capas donde hay transferencia térmica activa. Más adelante, cuando el frente ha seguido avanzado aguas abajo, se ha ampliado de tal manera que la transferencia térmica está activa en 9 capas y la válvula se ha extendido para coincidir con esta longitud.

Figuras 21a y 21b

[0243] Por el contrario, las figuras 21a y 21b muestran cómo un frente térmico avanza en un almacén cónico con un pasaje de derivación central que contiene un deflector móvil de longitud variable, cuya disposición se encuentra dentro del cuarto aspecto. El estrechamiento del almacén reduce la ampliación del frente térmico a medida que se desplaza en el almacén, lo que permite utilizar un deflector de longitud variable más compacto 904/906. Por lo tanto, se verá que el frente solo cambia de 3 a 5 capas activas en los almacenes 900, 902, respectivamente, a medida que avanza aguas abajo.

Figuras 22a y 22b

[0244] Las figuras 22a y 22b muestran cómo un frente térmico avanza en un almacén cónico con un pasaje de derivación central que contiene un deflector móvil de longitud fija, cuya disposición se encuentra dentro del cuarto aspecto. El estrechamiento del almacén se selecciona para compensar completamente cualquier

ensanchamiento frontal, de modo que la longitud del frente permanezca constante a lo largo del almacén en solo 3 capas activas (durante la carga temprana 990 y la carga posterior 992), por lo que solo requiere el uso de un deflector simple de longitud fija 994.

5 Figuras 24a a 24c y figura 25

[0245] Las figuras 24a, 24b muestran una única bandeja hexagonal 430 que puede usarse para formar un conjunto de soporte en capas alternativo de acuerdo con el segundo aspecto. La bandeja 430 es un componente de una sola pieza que consiste en una base hexagonal 431 que contiene varias aberturas 432 para permitir el flujo de gas, una pared sólida 434 que se extiende alrededor de la periferia de la base para contener los medios de almacenamiento dentro de la bandeja y fortalecer las bandejas, y los soportes de carga elevados 433 en la pared en los vértices de la bandeja. Los rebajes 435 en la base de las bandejas se acoplan con los soportes 433, de modo que se pueden apilar múltiples bandejas una encima de la otra en una disposición de enclavamiento. Se puede formar una sola capa haciendo teselado de bandejas múltiples, como se muestra en la figura 25, y se pueden construir capas adicionales al apilar bandejas adicionales en la parte superior, lo que también se muestra en la figura 25. Para formar una capa con válvula, algunas de las bandejas 430 pueden reemplazarse con bandejas con válvula 436, como se muestra en la figura 24c, que incluyen una abertura con válvula. Las válvulas pueden comprender cualquier válvula adecuada tal como, por ejemplo, válvulas antirretorno biestables o monoestables (437 y 438 como se muestra en la figura 24c) o válvulas de mariposa. Los medios de enclavamiento integrales o clips de conector separados, por ejemplo, pueden proporcionarse como medios de enclavamiento (no mostrados) para enlazar las bandejas hexagonales 430 adyacentes entre sí para formar una capa cohesiva capaz de resistir las fuerzas de tracción laterales.

25 Figuras 26a a 26c y figura 27

[0246] Un posible inconveniente de las bandejas hexagonales con paredes 430 y 436 de las figuras 24a y 24c es el potencial para formación de flujos de borde de derivación a lo largo de las paredes y también los flujos de derivación vertical entre capas entre las paredes de las bandejas adyacentes. Esto puede ser anulado hasta cierto punto usando una bandeja alternativa como se muestra en las figuras 26a, 26 y 26c. Las bandejas 440 y 446 aún mantienen una base hexagonal 441 que contiene múltiples aberturas 442, pero las paredes 434 se han eliminado, excepto en los vértices de las bandejas donde aún se requiere que actúen como soportes. Al retirar las paredes de la bandeja, los medios de almacenamiento se pueden colocar sobre la parte superior de las interfaces entre las bandejas adyacentes, cortando así el camino para los flujos de derivación entre las bandejas adyacentes. Los rebajes 445 todavía se proporcionan en las bases de las bandejas para permitir el apilamiento vertical de las bandejas y también se puede aún crear bandejas con válvula 446.

[0247] La figura 27 muestra cómo las bandejas sin paredes 440 y 446 aun así pueden ser teseladas y apiladas de la misma manera que las bandejas con paredes de la figura 25. De nuevo, podrían suministrarse medios de enclavamiento adecuados (no mostrados) para proporcionar una capa cohesiva.

[0248] En particular, como se indicó anteriormente, las características descritas con respecto a uno de los cuatro aspectos, también se pueden usar en relación con otro aspecto, donde el uso de esa característica claramente no estaría en conflicto con la enseñanza de ese aspecto (incluso cuando esa combinación no se haya mencionado específicamente).

45

REIVINDICACIONES

- 5 1. Almacén de energía térmica (100) que comprende: una cámara (106) que tiene una entrada de gas (102) y una salida de gas (104); y una variedad de capas sucesivas de almacenamiento térmico (101) permeables a los gases, aguas abajo, dispuestas entre la entrada y la salida; cada capa de almacenamiento térmico comprende medios de almacenamiento térmico permeables a los gases (112), con el almacén configurado para el flujo de gas desde la entrada de gas a la salida de gas a través de la variedad de capas de almacenamiento térmico para la transferencia de energía térmica hacia o desde los medios de almacenamiento térmico, caracterizados en que al menos una entre la variedad de capas de almacenamiento térmico (101) es una capa de almacenamiento térmico con válvula (101) que tiene al menos una válvula (116) operable como válvula de derivación para permitir o evitar que al menos un poco de flujo de gas pase a través de esa capa, a través de la válvula (116), para sortear el medio de almacenamiento térmico (112) de esa capa.
- 10 2. Almacén de energía térmica según la reivindicación 1, en el que cada capa con válvula (101) está provista de una variedad de válvulas espaciadas (116).
- 15 3. Almacén de energía térmica según la reivindicación 2, en el que las válvulas (116) de una capa con válvula (101) son operables independientemente de las de cualquier otra capa con válvula.
- 20 4. Almacén de energía térmica según cualquier reivindicación precedente, en el que cada capa de la variedad de capas de almacenamiento térmico (101) del almacén comprende una capa con válvula (101).
- 25 5. Almacén de energía térmica según cualquier reivindicación precedente, en el que el almacén comprende un sistema de control configurado selectivamente para alterar la trayectoria de flujo del gas que fluye desde la entrada de gas (102) hasta la salida de gas (104) en respuesta al avance del frente térmico a través del almacén (100).
- 30 6. Almacén de energía térmica según la reivindicación 5, configurado de tal manera que, durante la operación, la trayectoria de flujo del gas se altera para sortear las capas de almacenamiento térmico (101) aguas arriba del frente térmico, en cuyas capas la transferencia térmica es sustancialmente completa.
- 35 7. Almacén de energía térmica según la reivindicación 5 o la reivindicación 6, configurado de tal manera que, durante el funcionamiento, la trayectoria de flujo del gas se altera para sortear las capas de almacenamiento térmico (101) aguas abajo del frente térmico, en cuyas capas la transferencia térmica es mínima.
- 40 8. Almacén de energía térmica según las reivindicaciones 6 y 7, configurado de tal manera que, durante la operación, la trayectoria de flujo del gas se altera de manera que solo pase a través de las capas de almacenamiento térmico (101) en las que existe todo o parte del frente térmico.
- 45 9. Almacén de energía térmica de acuerdo con cualquier reivindicación precedente, en el que la cámara (106) es una cámara vertical que comprende una variedad de capas horizontales de almacenamiento térmico permeables a los gases (101) dispuestas una encima de la otra entre la entrada de gas (102) y la salida de gas (104) de tal manera que el almacén está configurado para el flujo de gas vertical desde la entrada de gas hasta la salida de gas a través de las capas de almacenamiento térmico.
- 50 10. Almacén de energía térmica según la reivindicación 9, en el que el almacén (100) está dispuesto, durante la operación, de manera que la entrada de gas (102) se suministra en la parte superior de la cámara (106) cuando se configura como una entrada caliente o en la parte inferior de la cámara cuando se configura como una entrada fría.
- 55 11. Almacén de energía térmica según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que se proporciona un hueco o un plenum (114) para la distribución lateral de gas por encima del medio de almacenamiento térmico (112) de cada capa (101).
- 60 12. Almacén de energía térmica según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que una sola capa con válvula (101) comprende una variedad de válvulas (116) configuradas de modo que sean operadas al unísono por un solo mecanismo de accionamiento (118).
- 65 13. Almacén de energía térmica según cualquier reivindicación precedente, en el que las válvulas (116) comprenden válvulas antirretorno, válvulas de mariposa, válvulas deslizantes o válvulas rotatorias.
14. Almacén de energía térmica según cualquier reivindicación precedente, en el que hay una variedad de capas con válvula adyacentes (101) y las válvulas (116) en capas adyacentes están alineadas verticalmente para proporcionar pasajes de derivación que se extienden a través del almacén.

- 5 15. Método para operar un almacén de energía térmica según la reivindicación 1, en el que el almacén (100) comprende un sistema de control que altera selectivamente la trayectoria de flujo del gas que fluye desde la entrada de gas (102) hasta la salida de gas (104) controlando las válvulas (116) en cada capa con válvula (101) en respuesta al avance de un frente térmico a medida que se desplaza a lo largo del almacén, y opcionalmente, donde el sistema de control desvía el flujo de gas hacia diferentes grupos seleccionados de capas aguas abajo adyacentes con válvulas, a su vez, a medida que el frente térmico se mueve, cerrando las aberturas con válvula (116) de esos grupos seleccionados de capas.

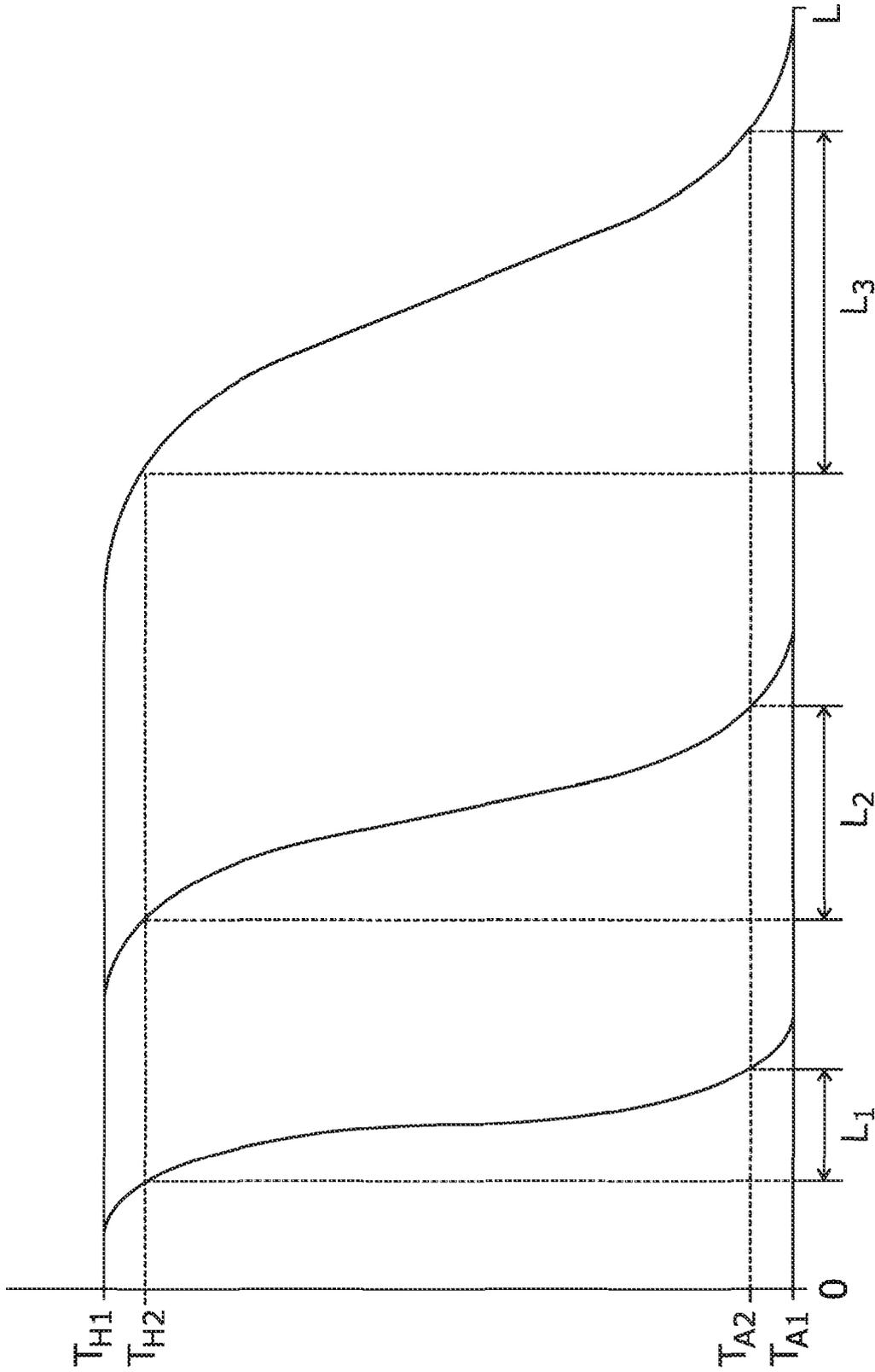


FIG. 1

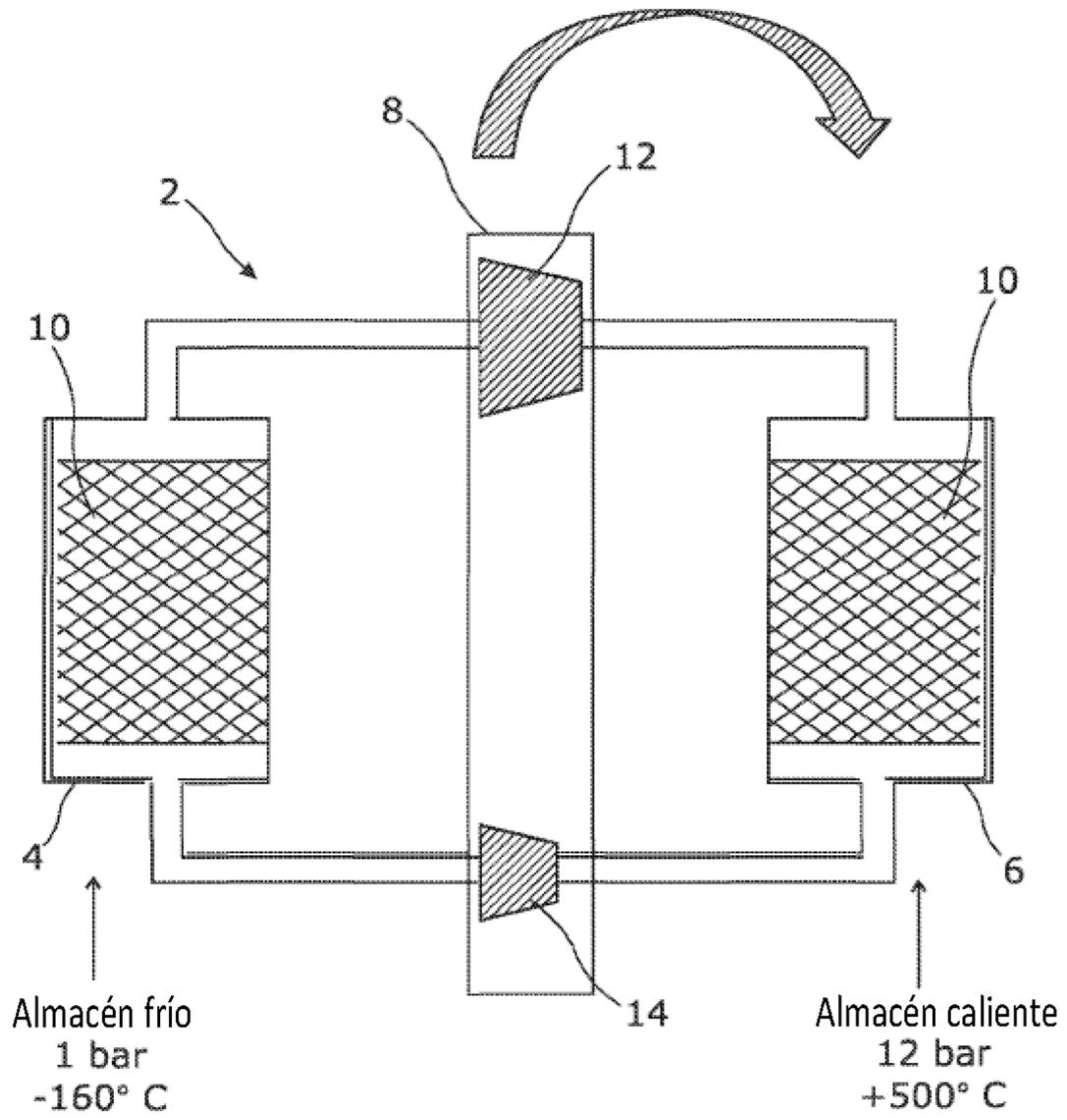


Fig. 2

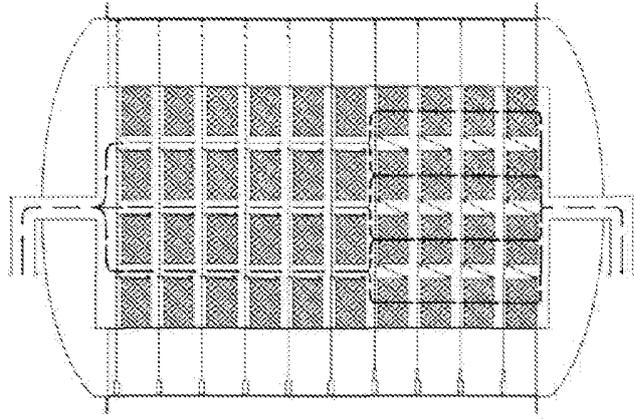


Fig. 4c

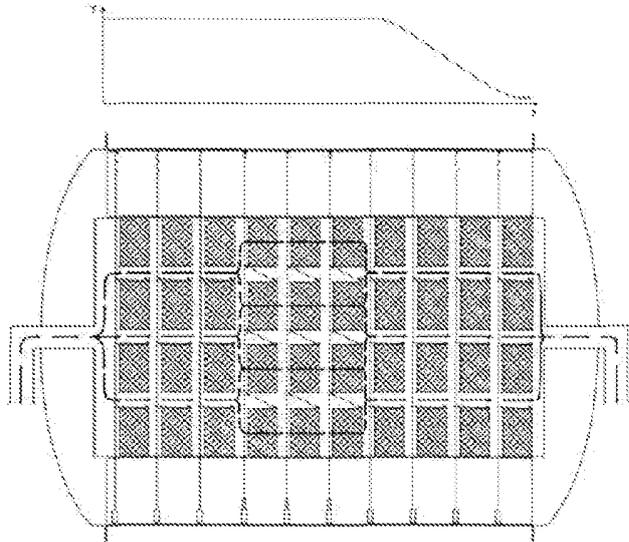


Fig. 4b

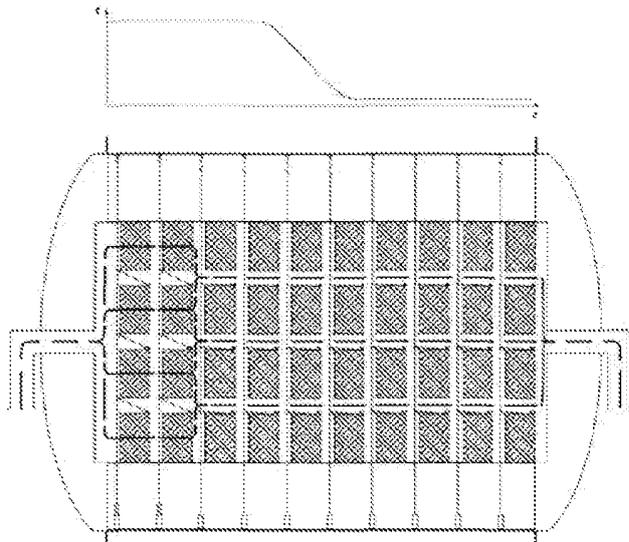


Fig. 4a



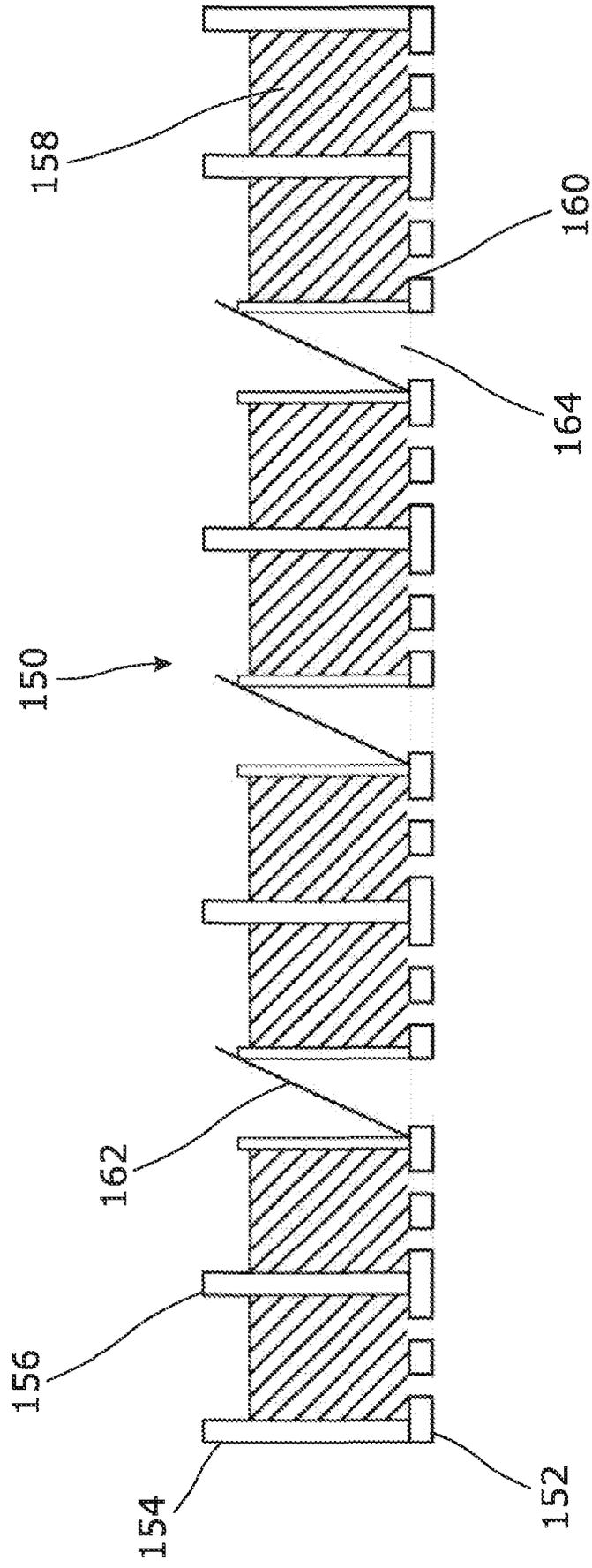


Fig. 5

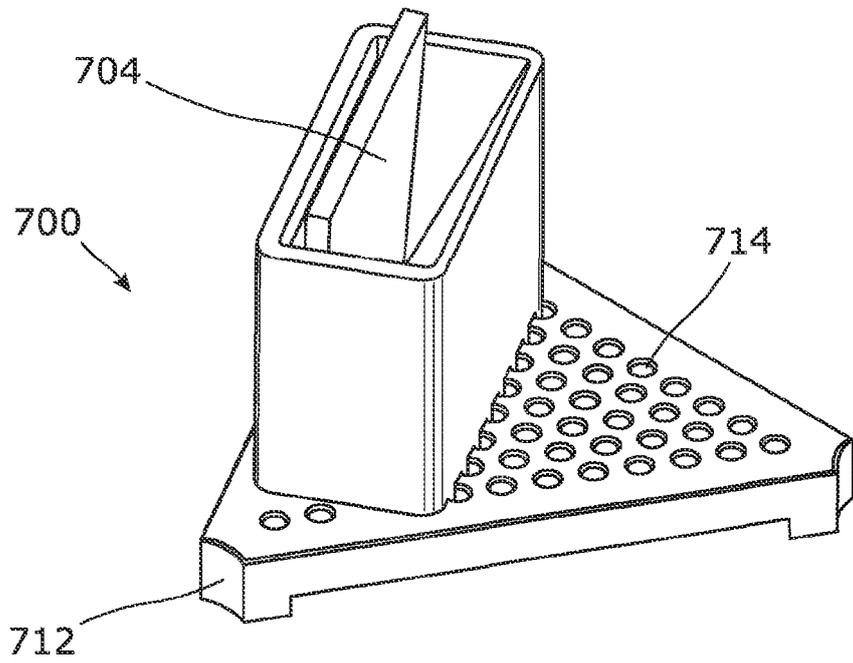


Fig. 6a

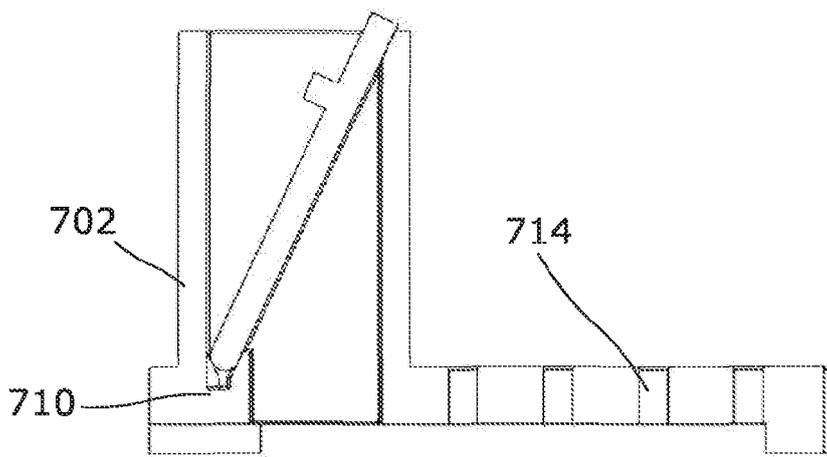


Fig. 6b

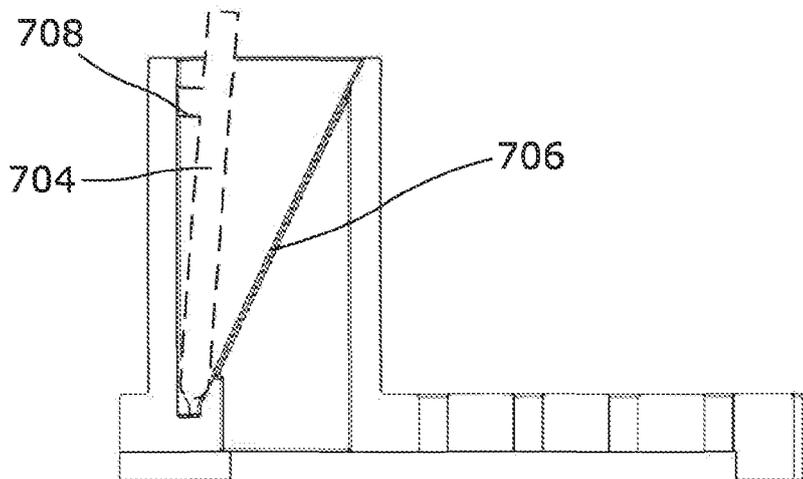


Fig. 6c

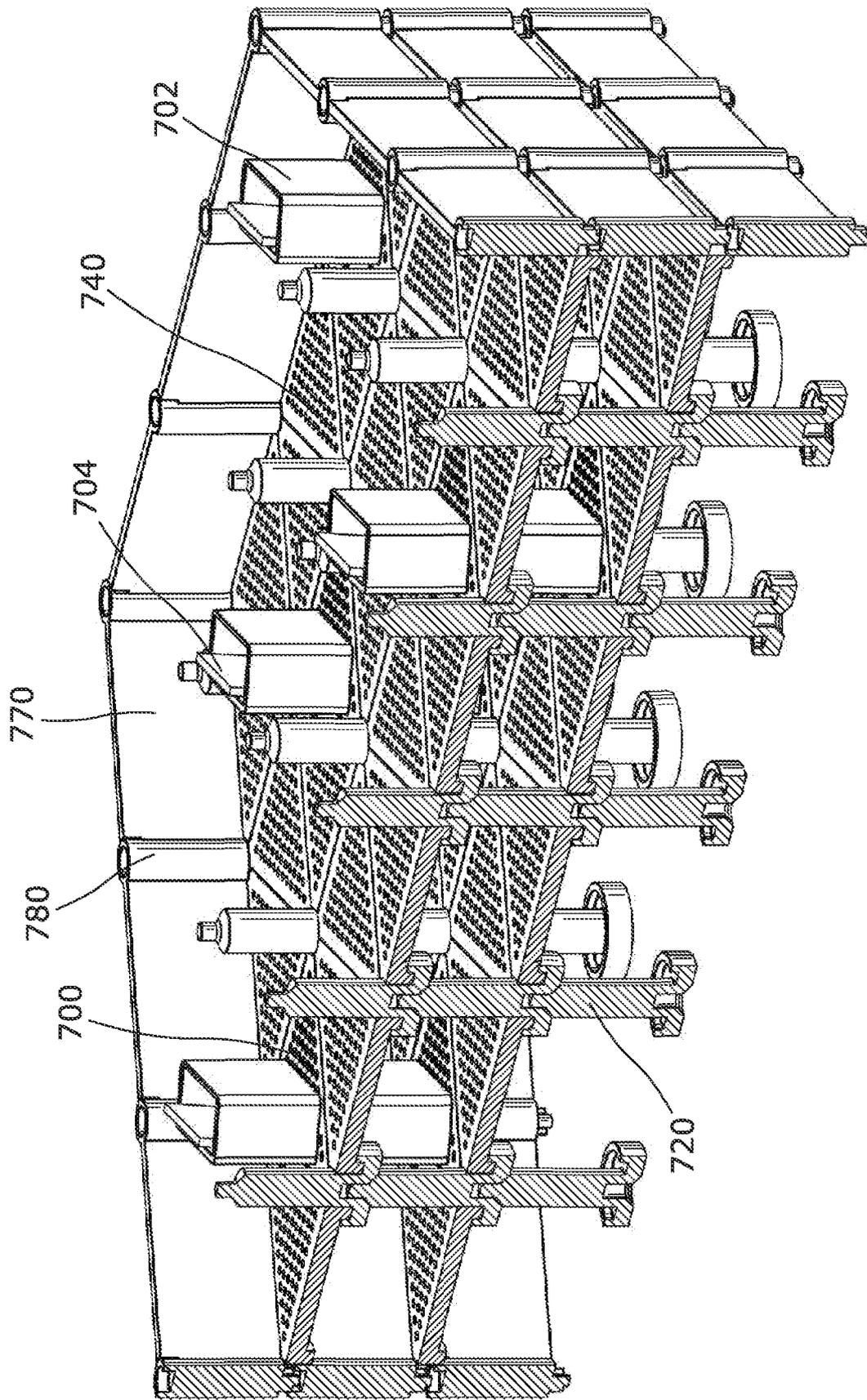


Fig. 7

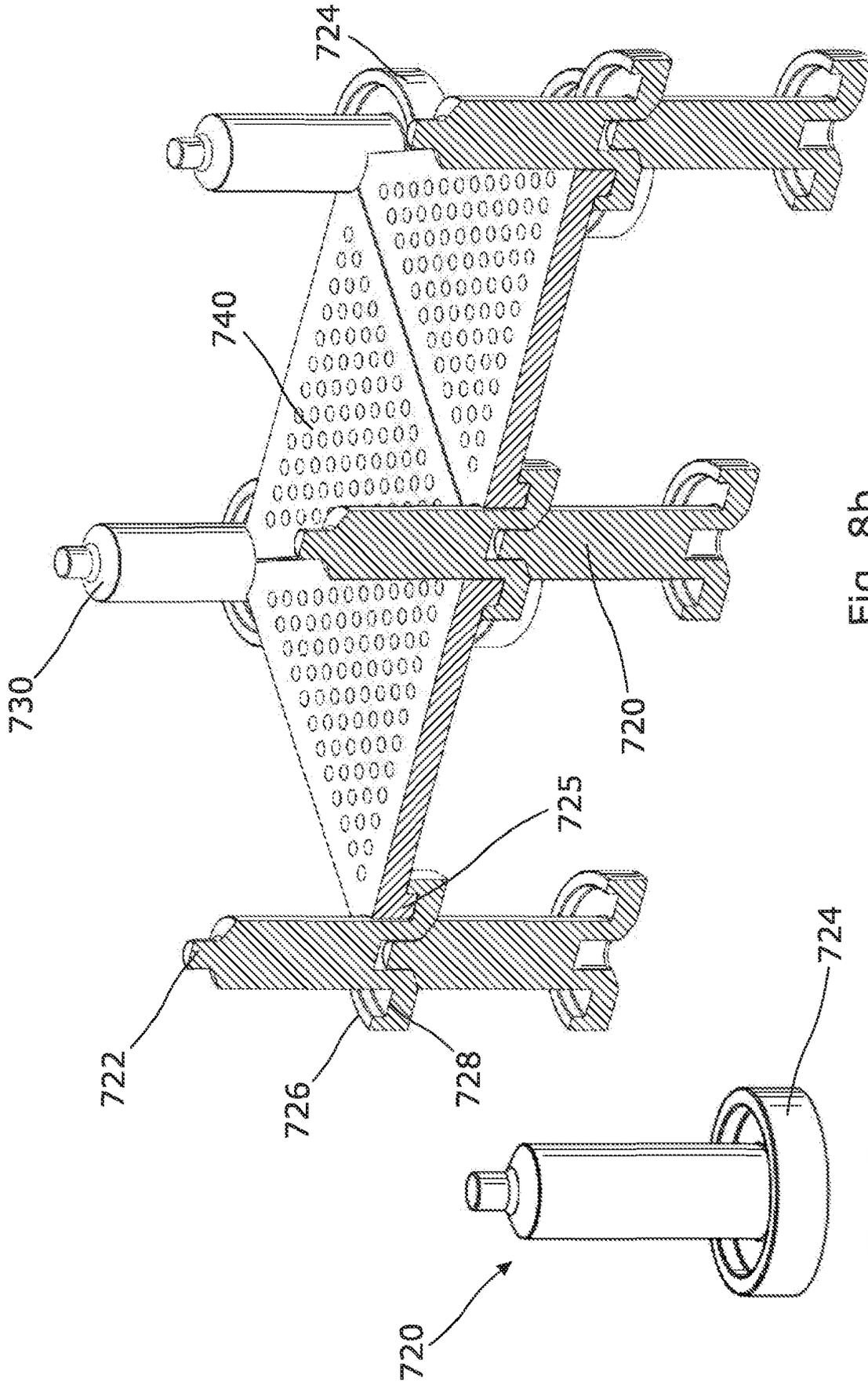


Fig. 8b

Fig. 8a

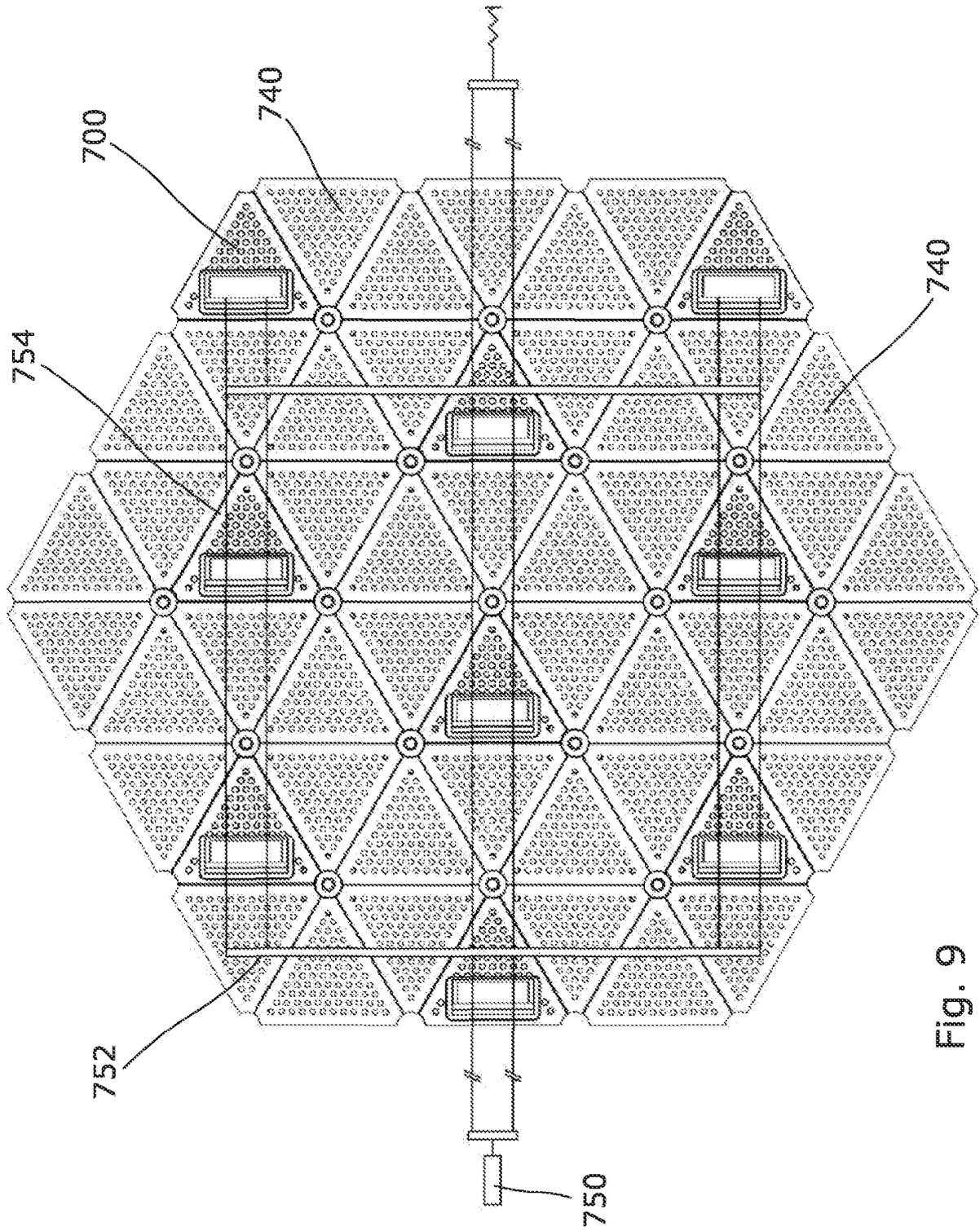


Fig. 9

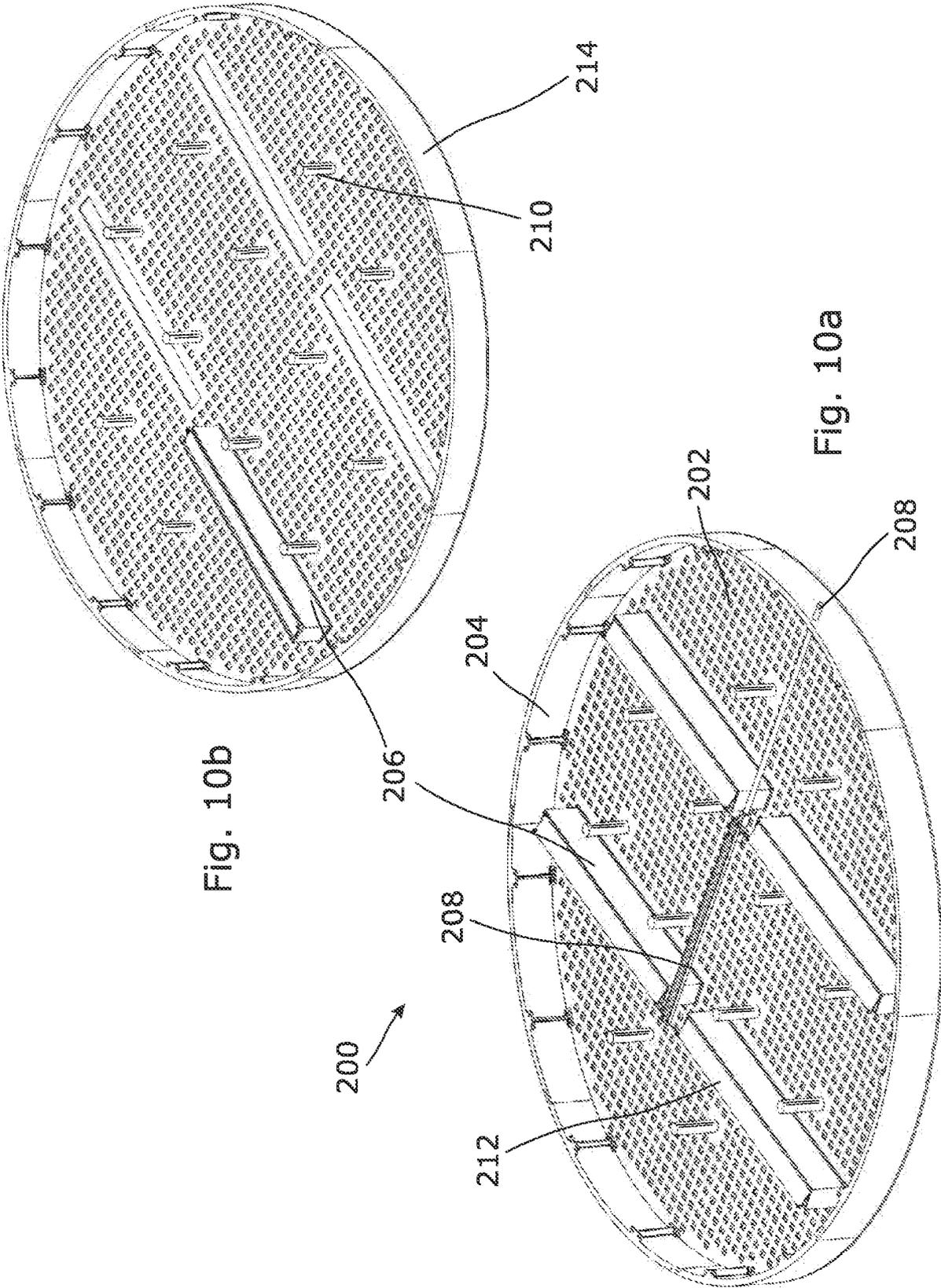


Fig. 10b

Fig. 10a

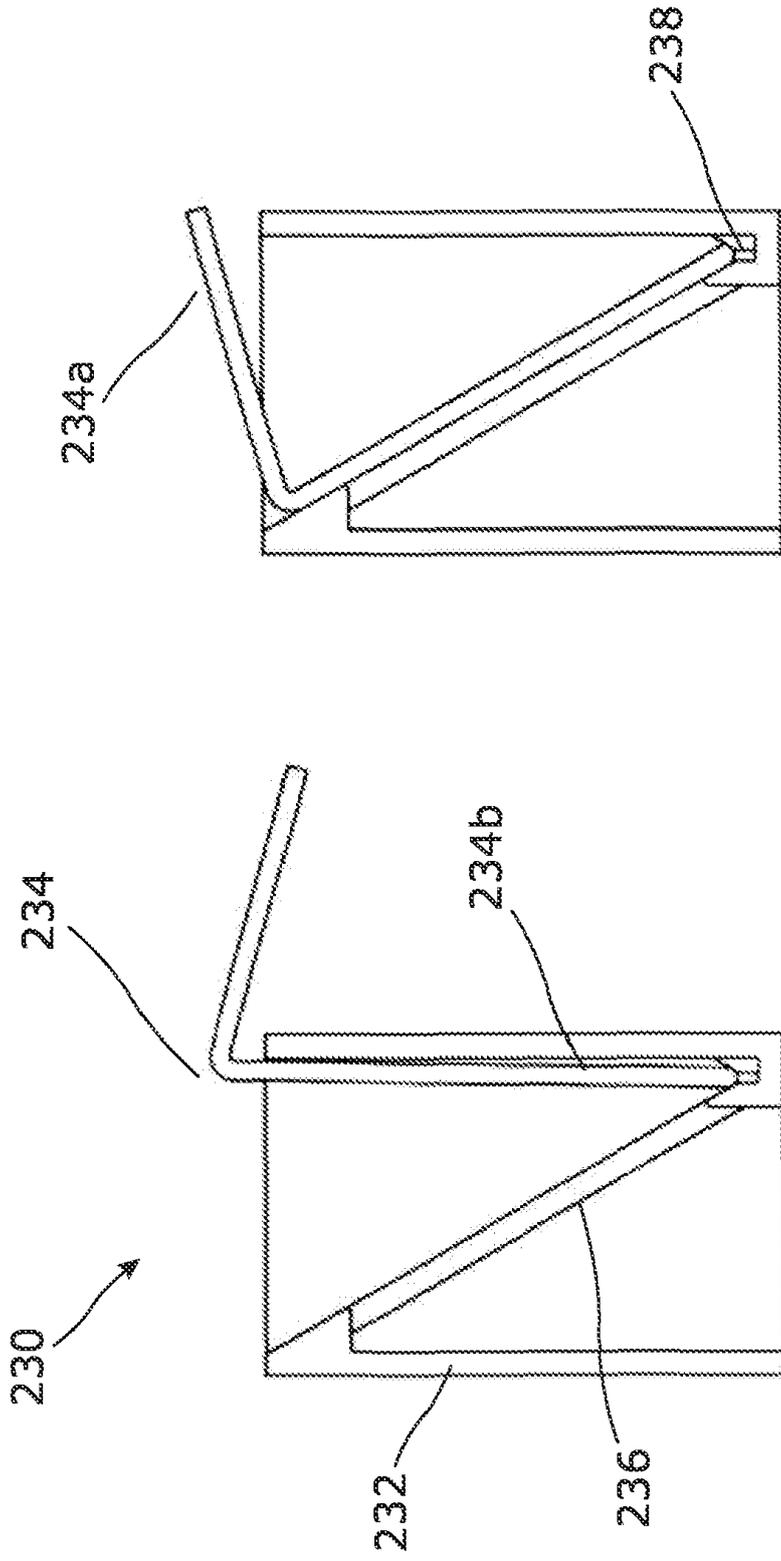


Fig. 11b

Fig. 11a

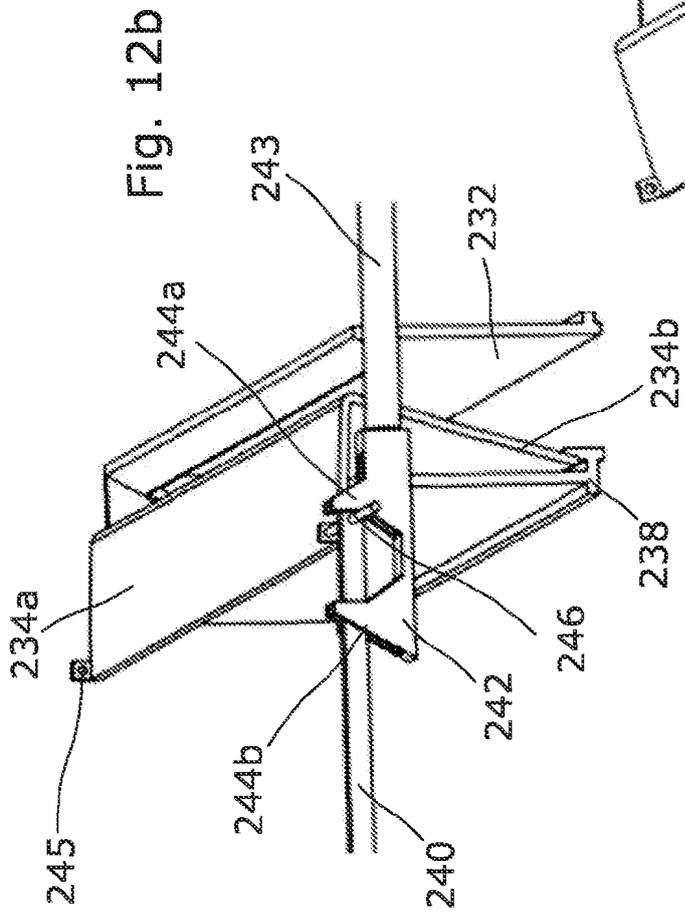


Fig. 12b

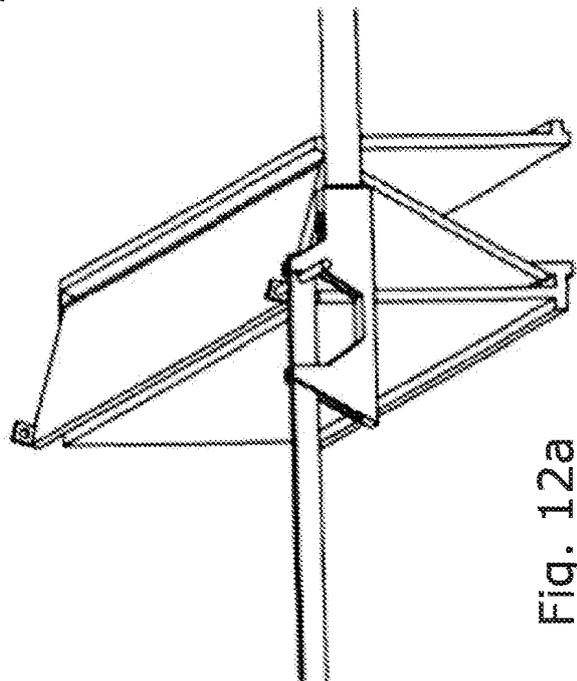


Fig. 12a

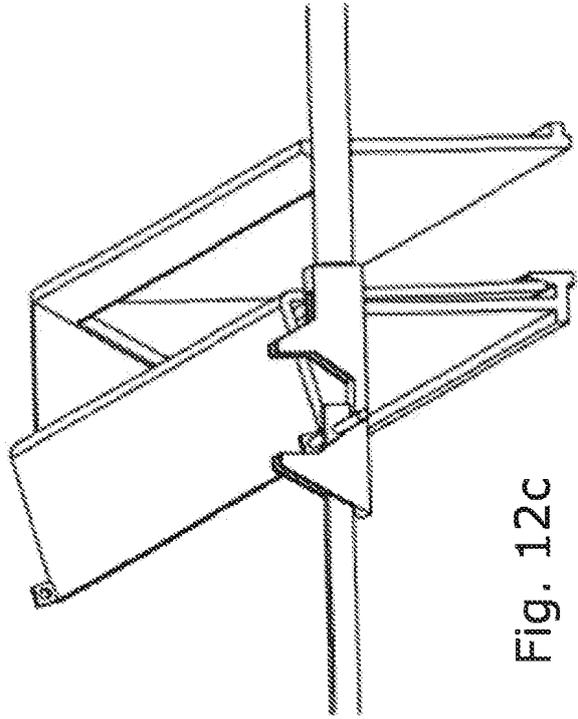


Fig. 12c

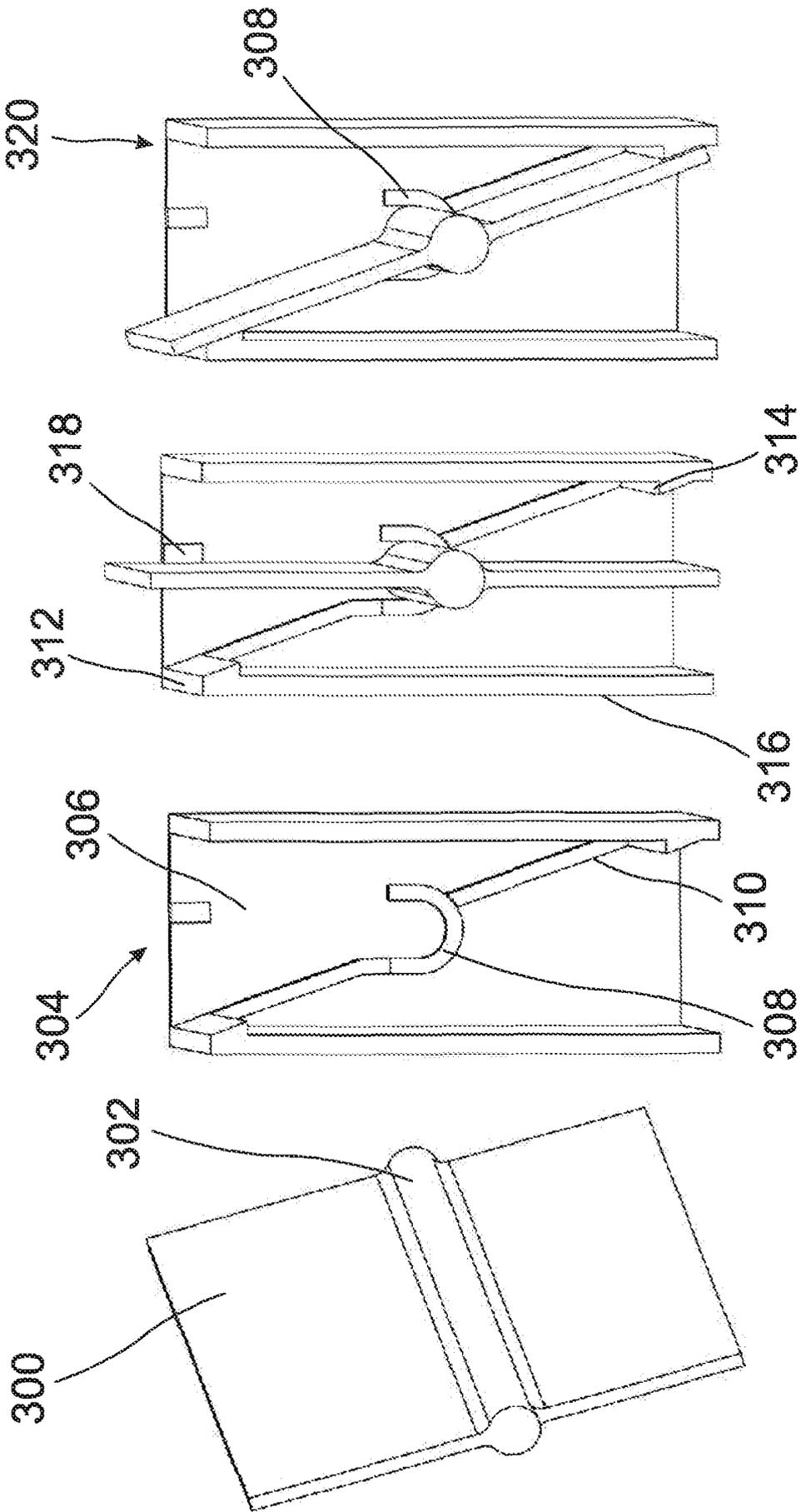


Fig. 13a

Fig. 13b

Fig. 13c

Fig. 13d

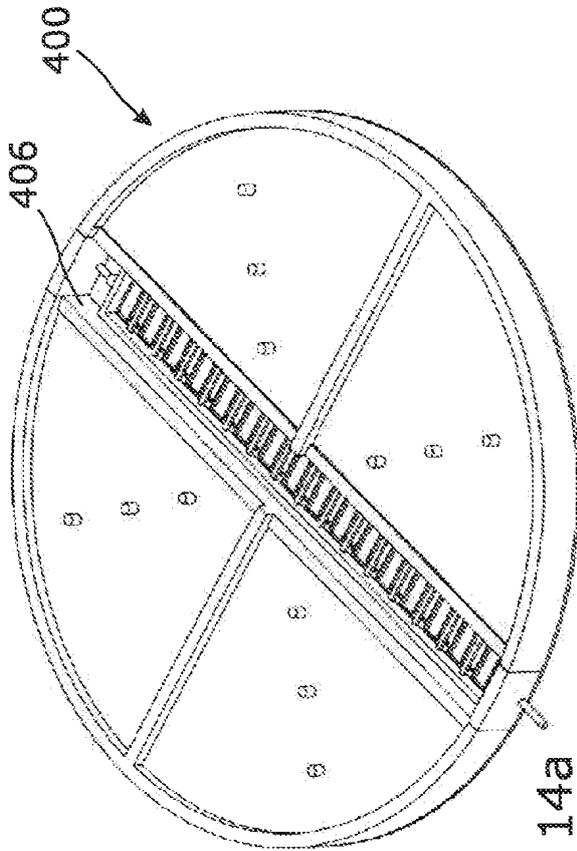


Fig. 14a

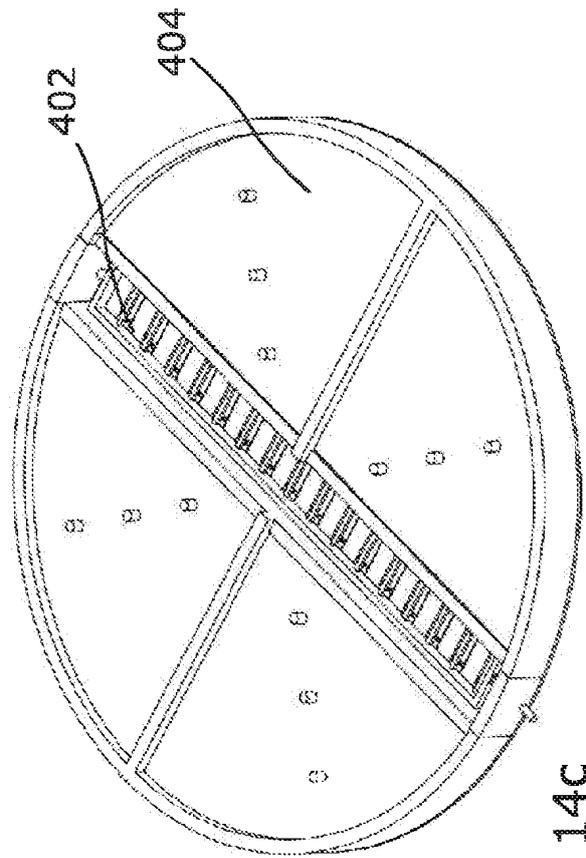


Fig. 14c

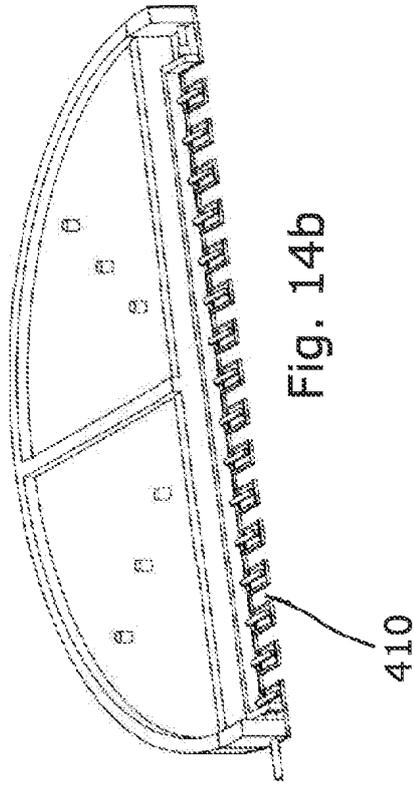


Fig. 14b

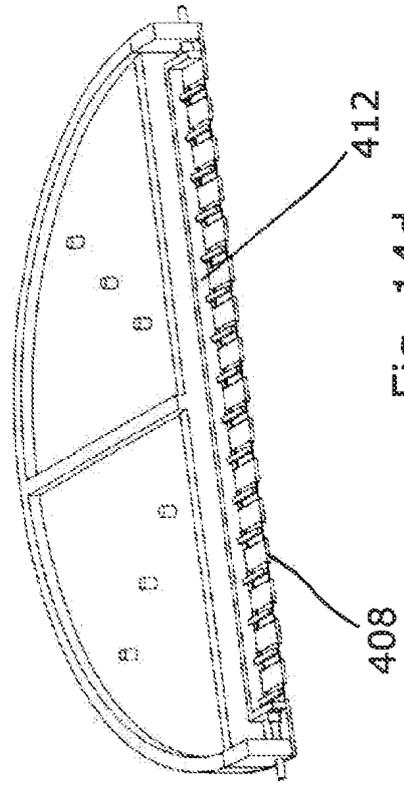


Fig. 14d

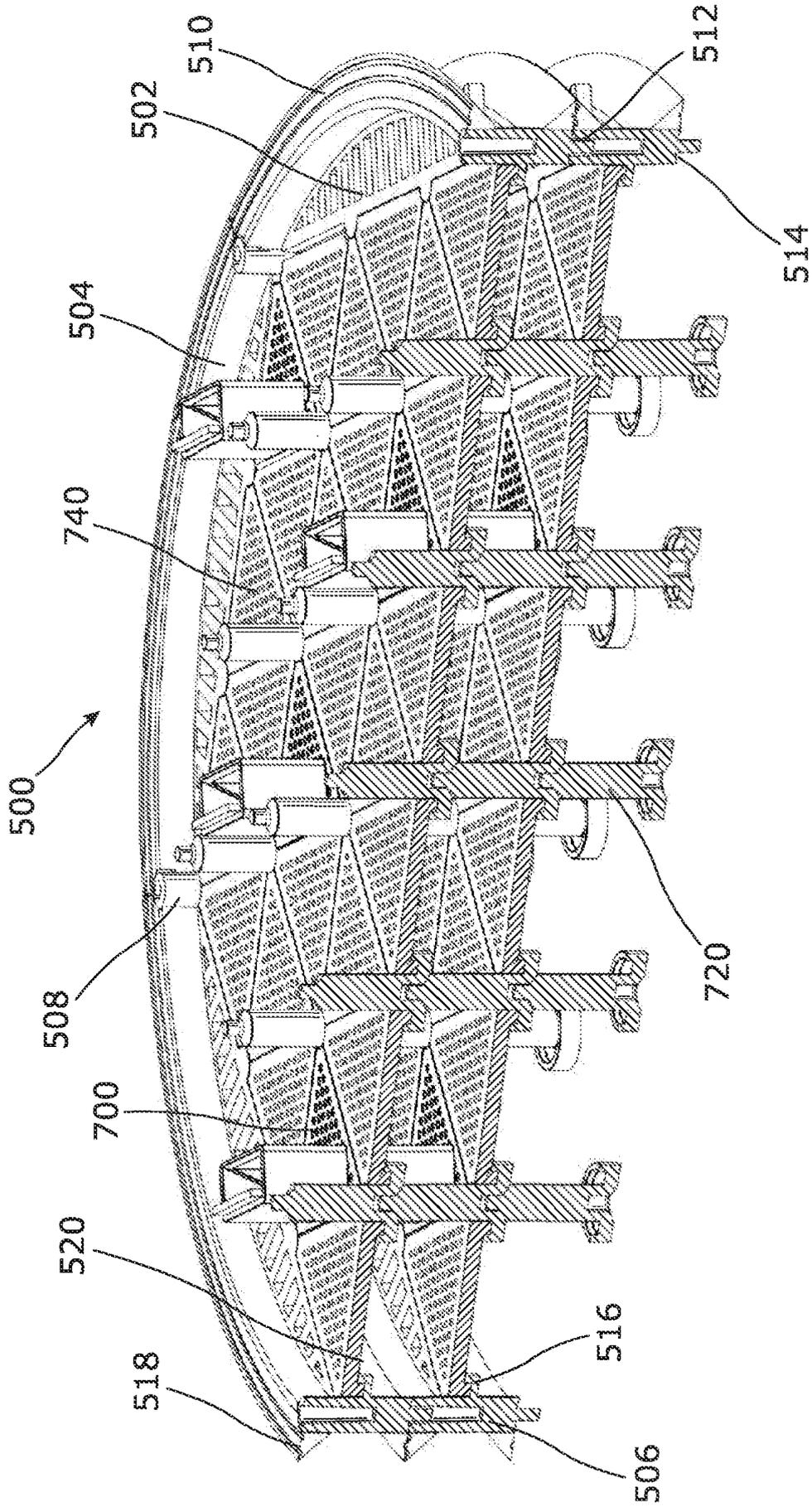
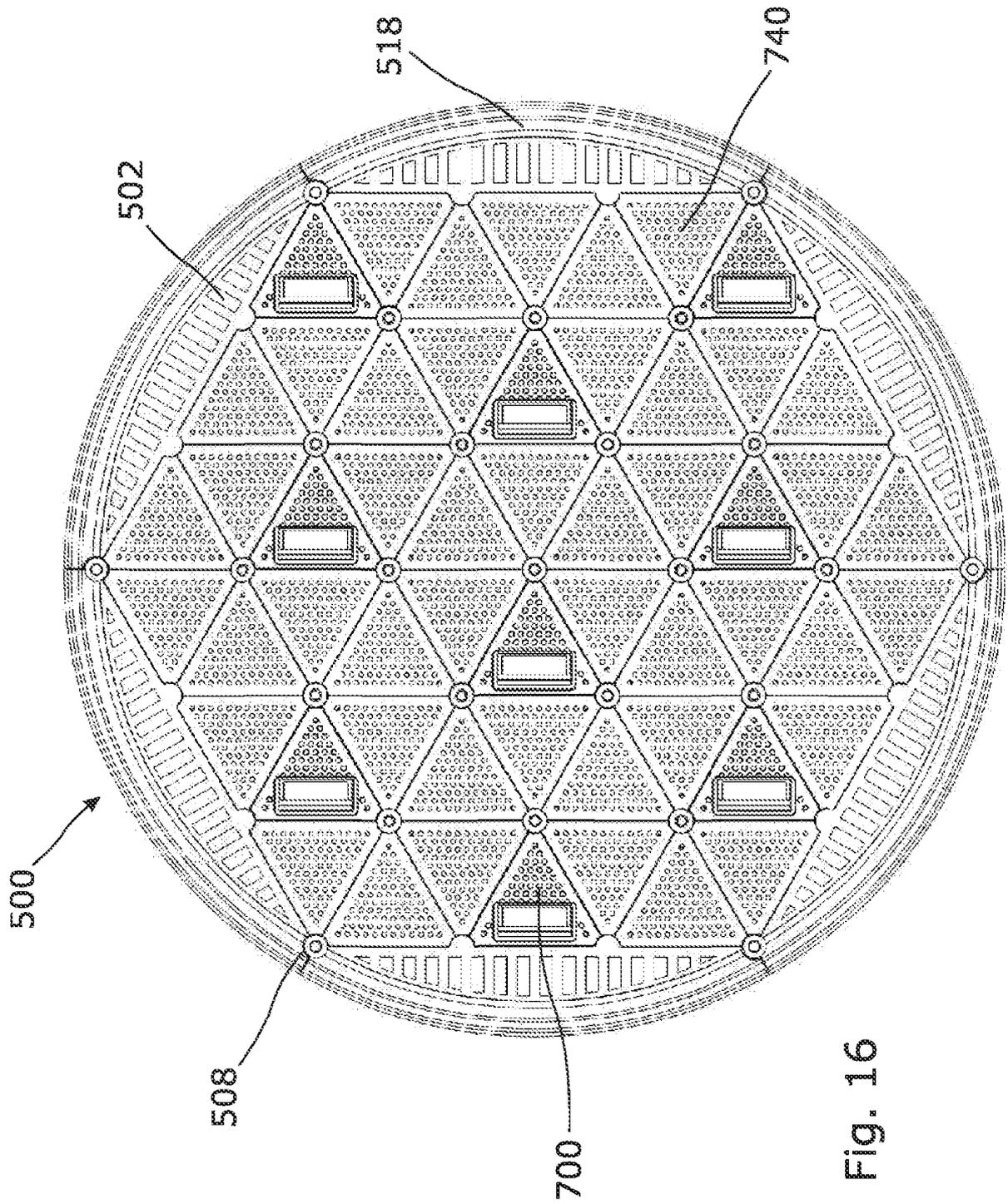


Fig. 15



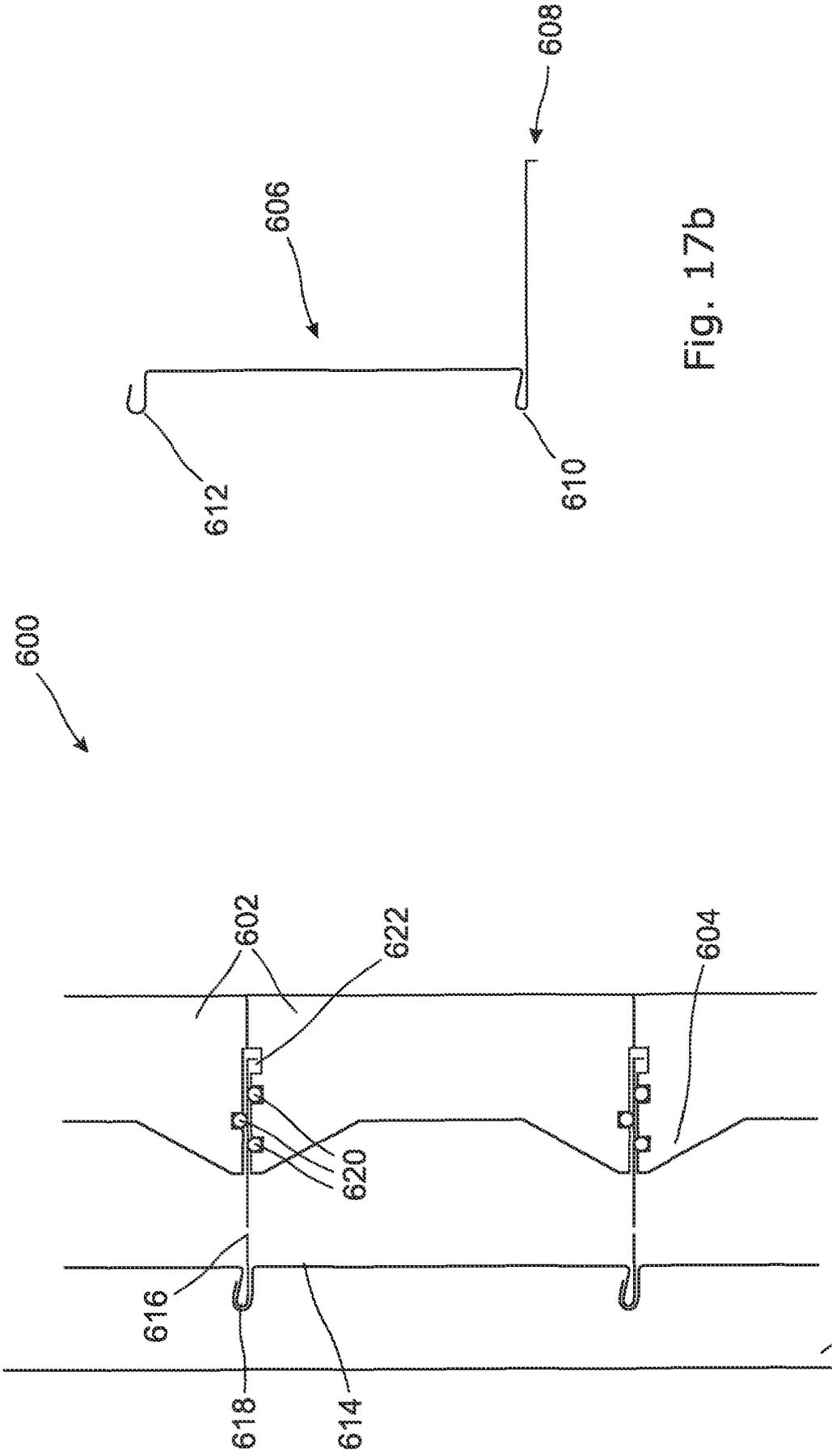


Fig. 17b

Fig. 17a

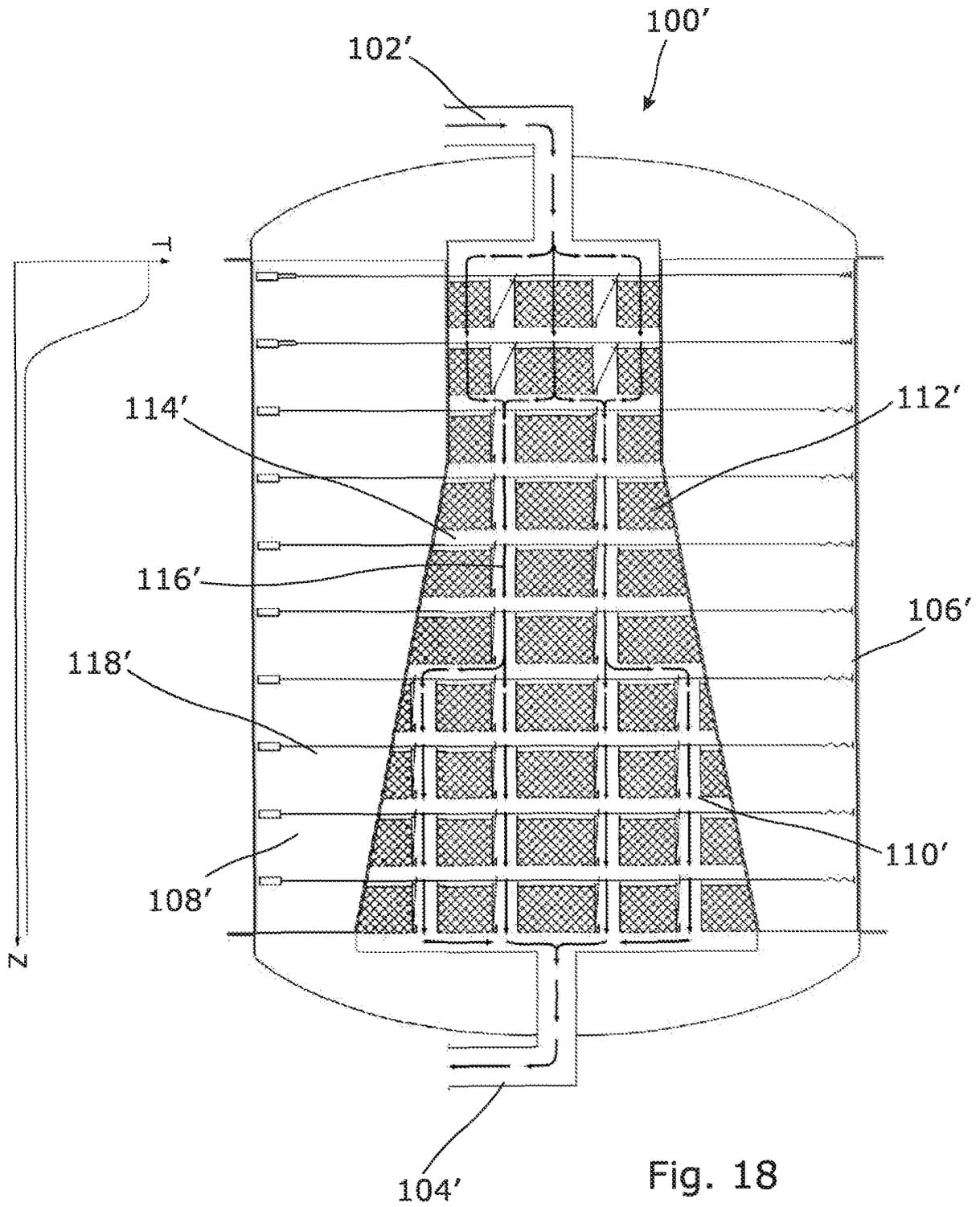


Fig. 18

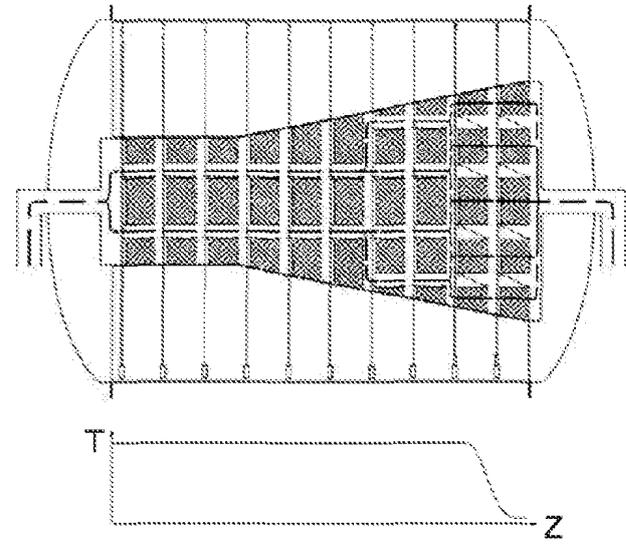


Fig. 19c

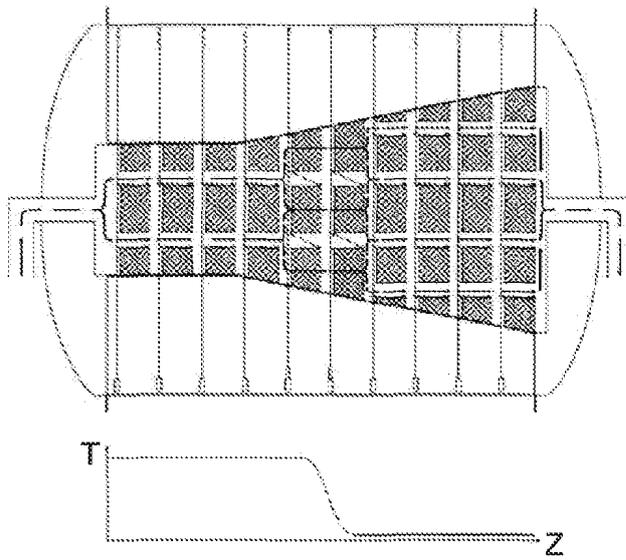


Fig. 19b

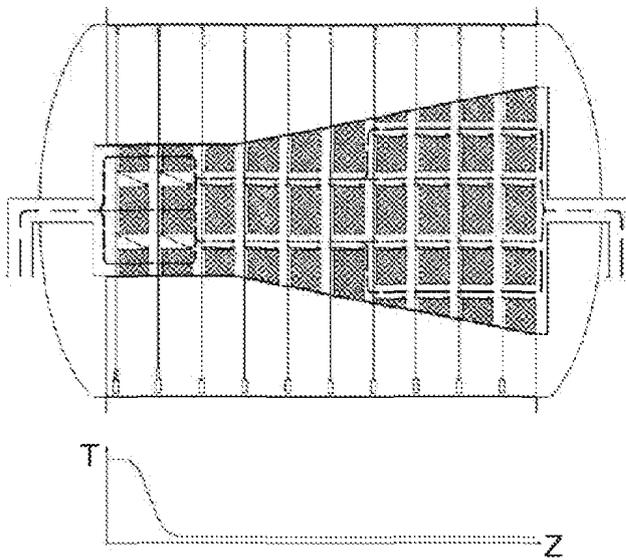


Fig. 19a

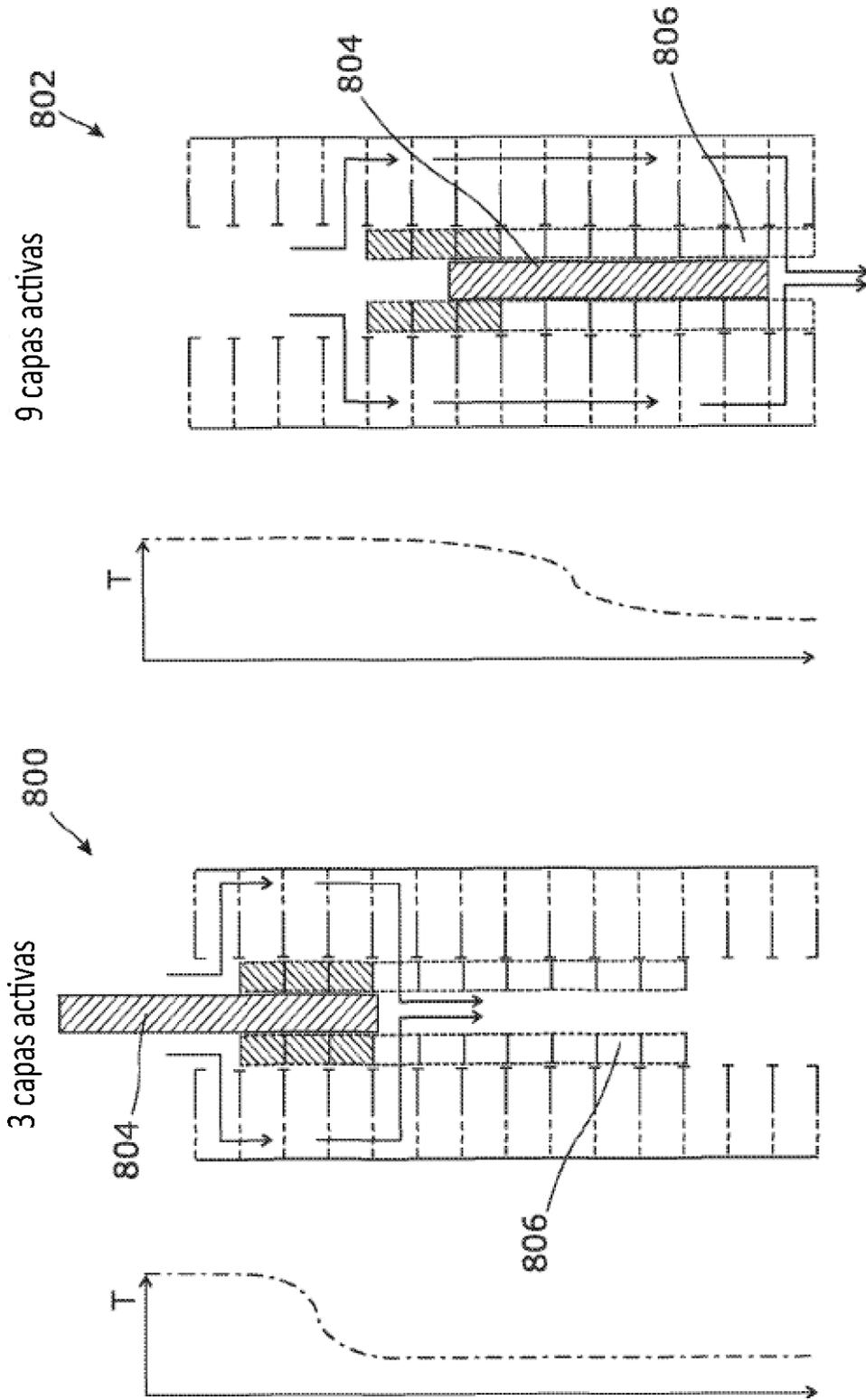


Fig. 20b

COMPARATIVA

Fig. 20a

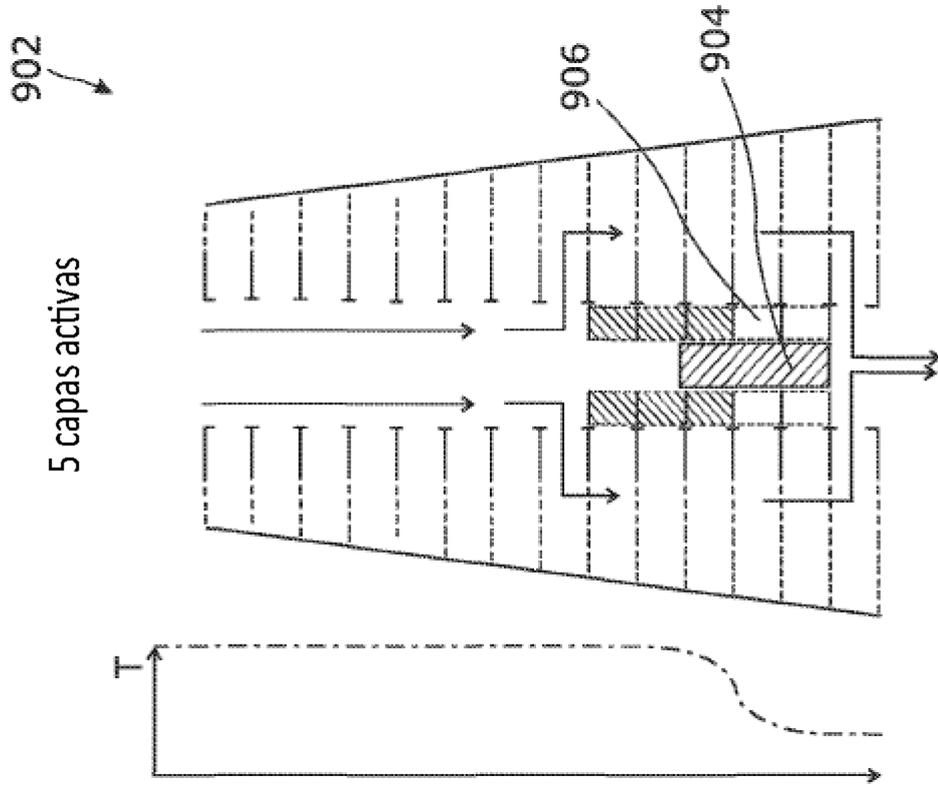


Fig. 21b

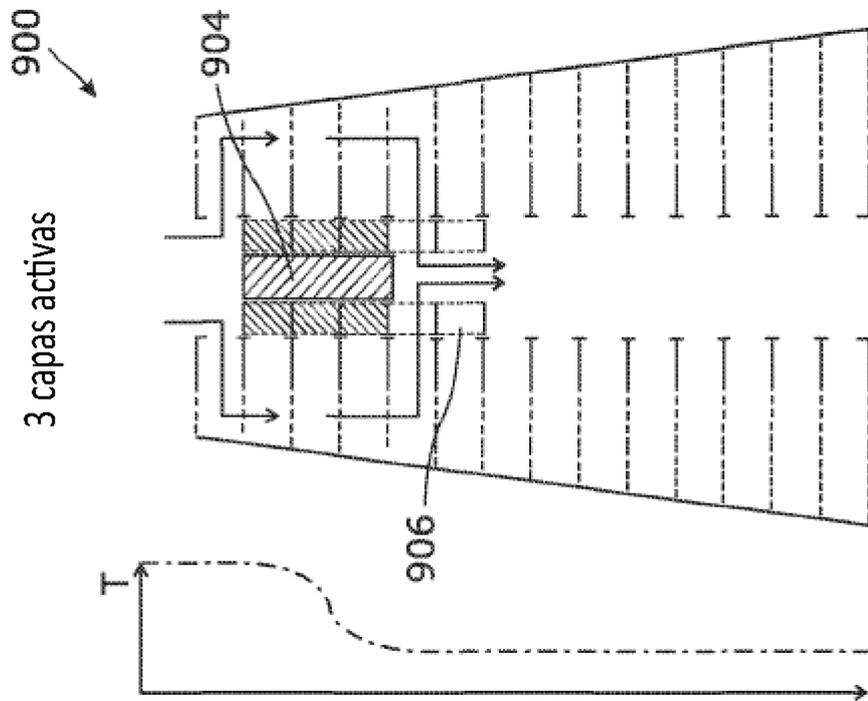


Fig. 21a

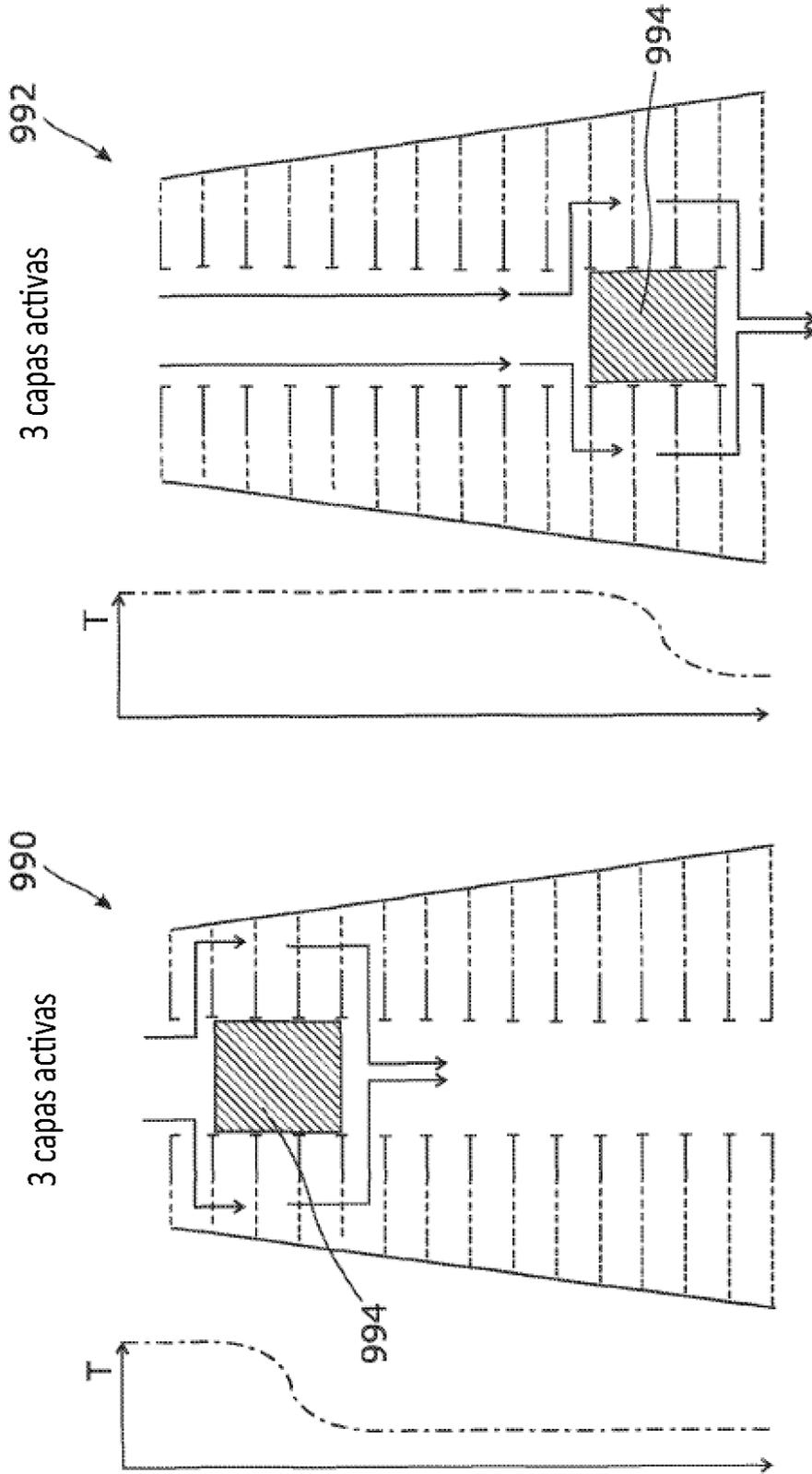


Fig. 22b

Fig. 22a

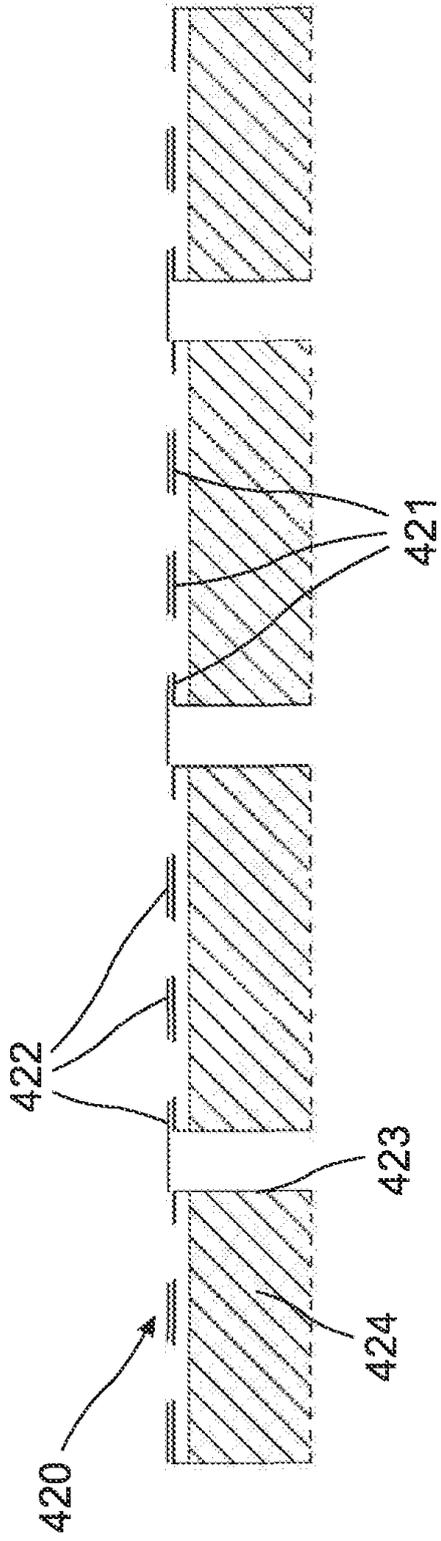


Fig. 23a

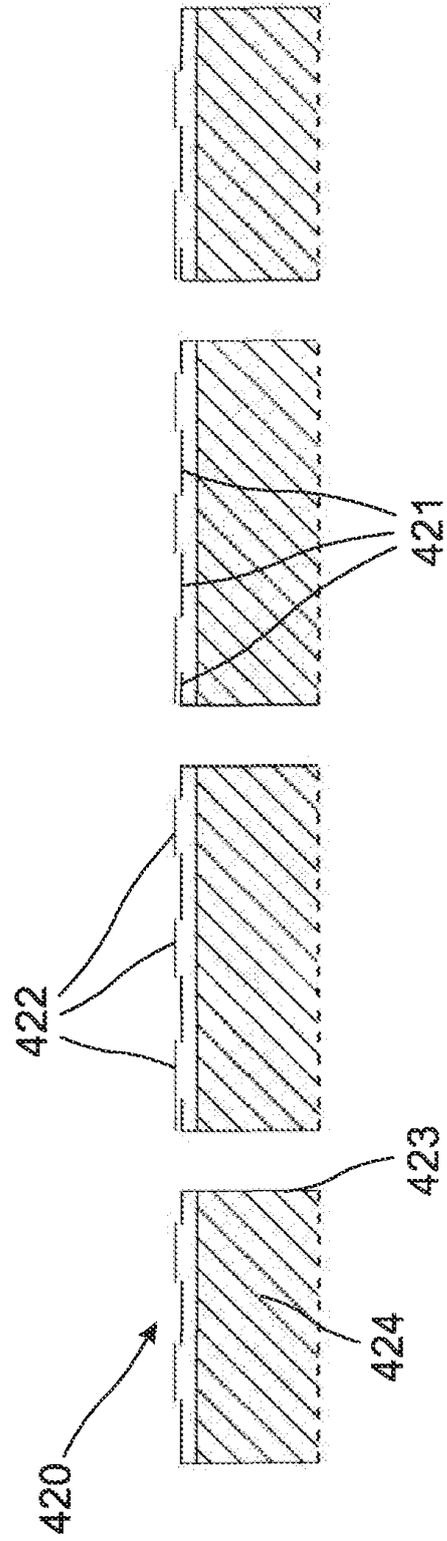


Fig. 23b

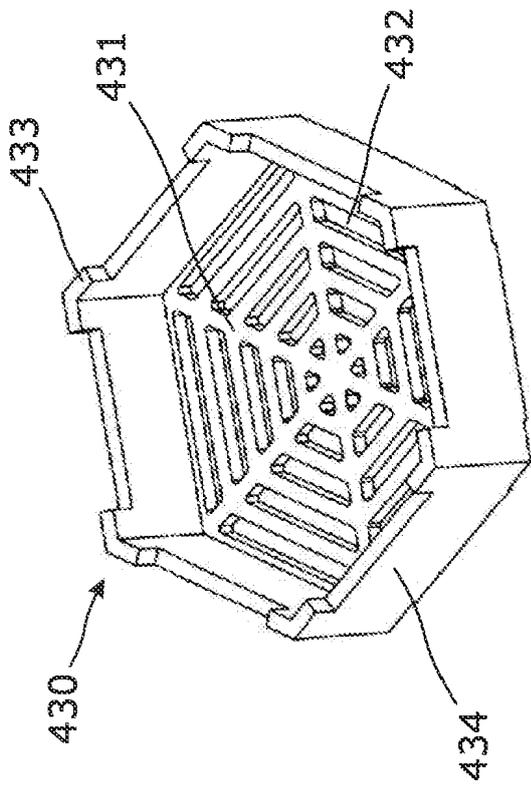


Fig. 24a

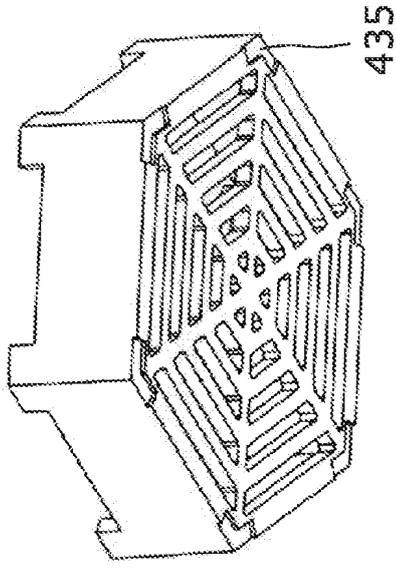


Fig. 24b

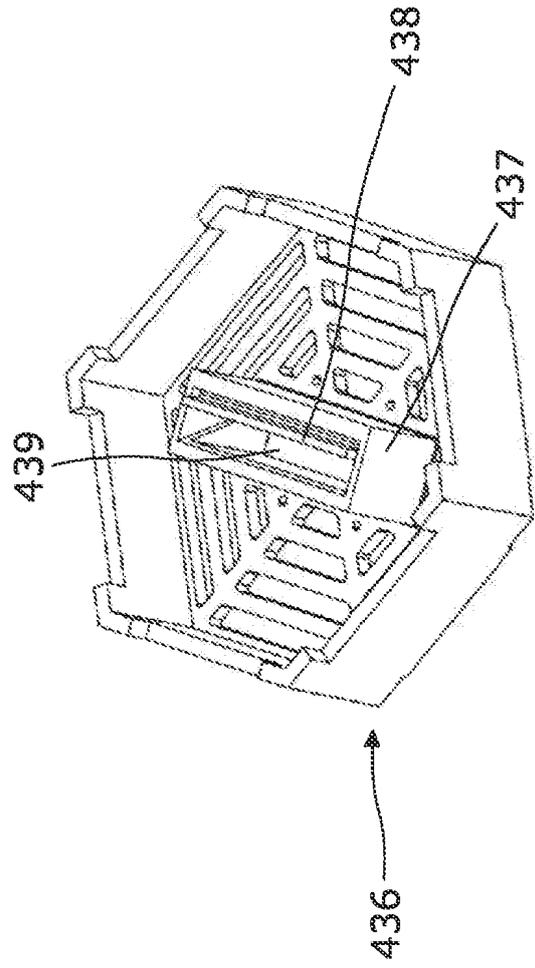


Fig. 24c

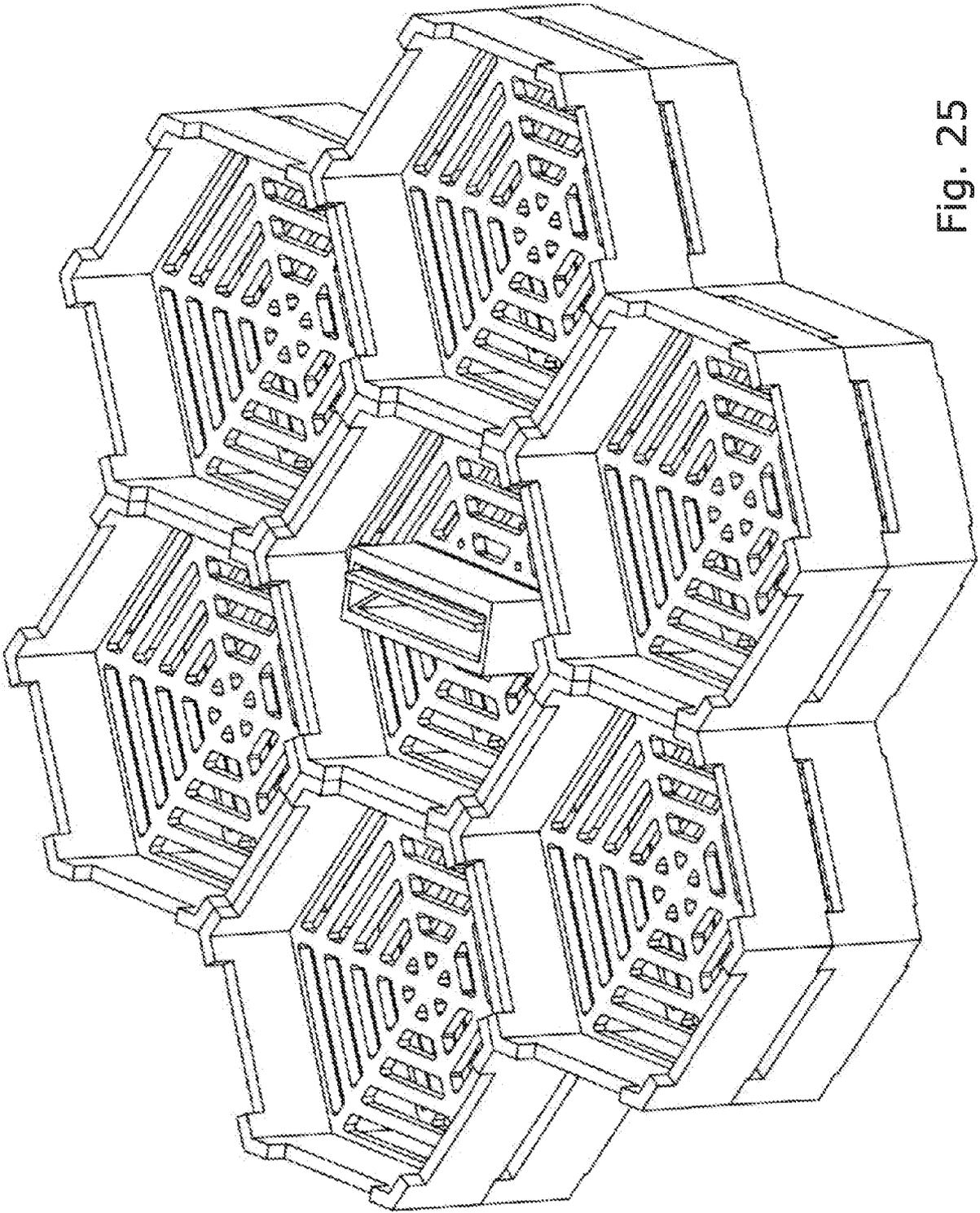


Fig. 25

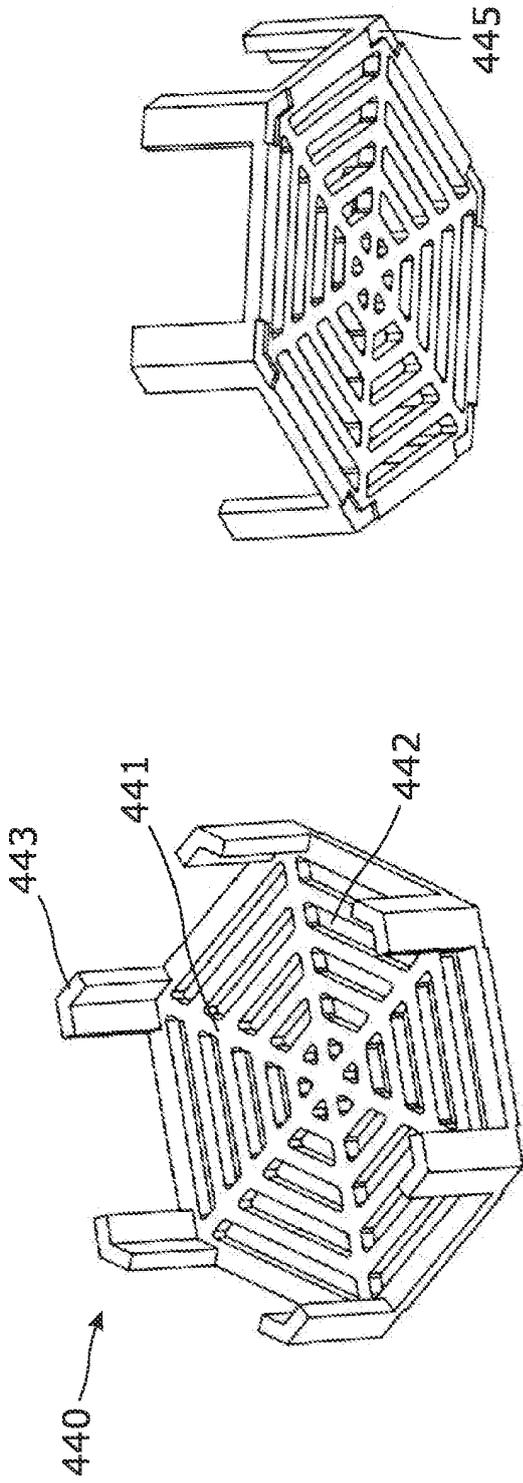


Fig. 26a

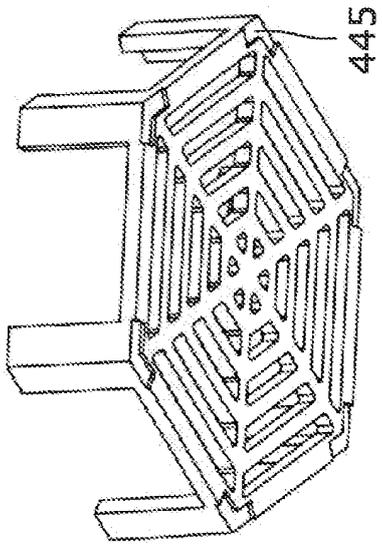


Fig. 26b

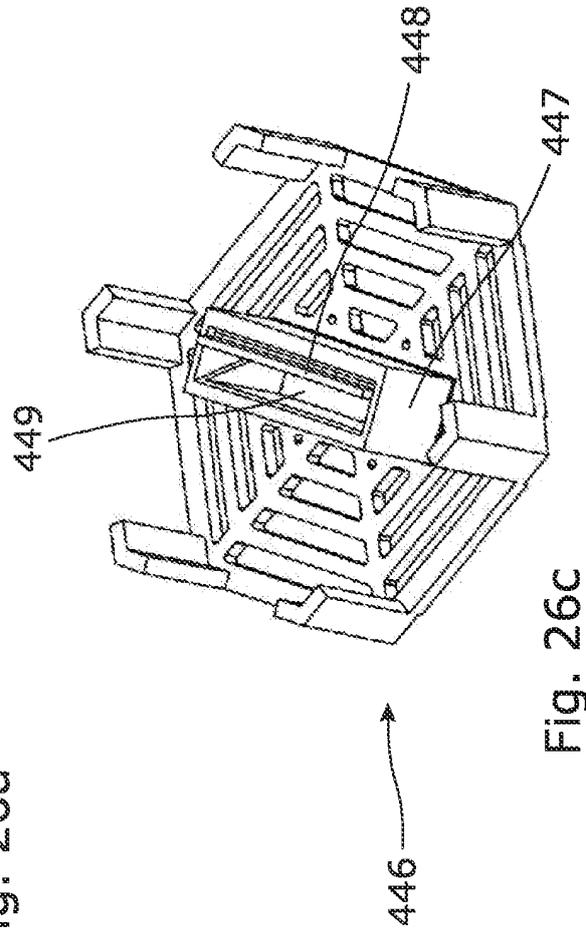


Fig. 26c

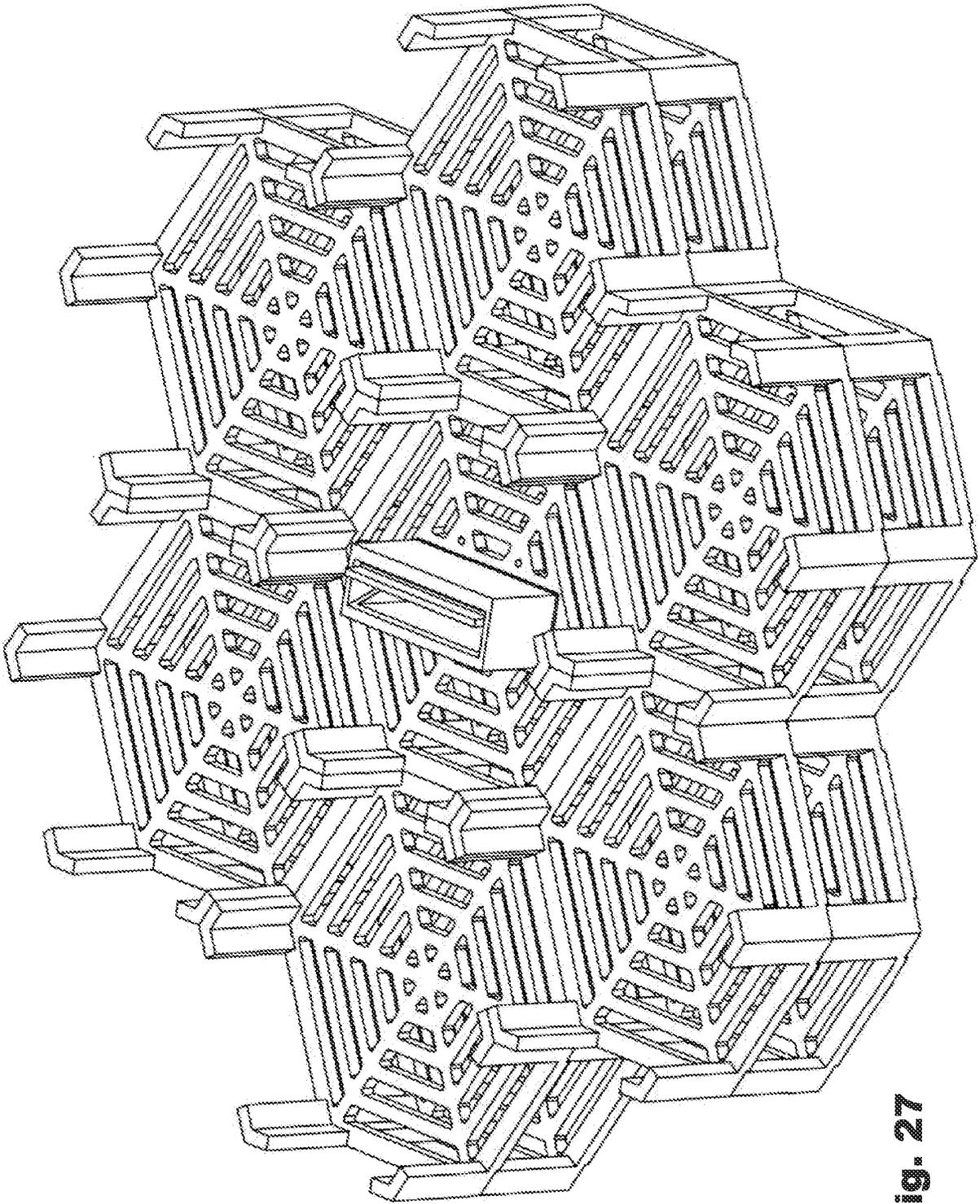


Fig. 27