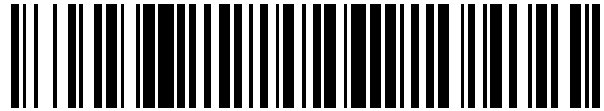


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 719 138**

51 Int. Cl.:

**F28D 20/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **12.05.2015 PCT/IB2015/053471**

87 Fecha y número de publicación internacional: **19.11.2015 WO15173721**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **12.05.2015 E 15730535 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **09.01.2019 EP 3134698**

54 Título: **Instalación de almacenamiento de energía térmica**

30 Prioridad:

**16.05.2014 ZA 201403555**

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

**08.07.2019**

73 Titular/es:

**STELLENBOSCH UNIVERSITY (100.0%)  
Admin B, Victoria Street, Stellenbosch  
7600 Western Cape Province, ZA**

72 Inventor/es:

**GAUCHÉ, PAUL y  
LOUW, ANDRÉ DU RANDT**

74 Agente/Representante:

**CARPINTERO LÓPEZ, Mario**

**ES 2 719 138 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

Instalación de almacenamiento de energía térmica

### Campo de la invención

5 La presente invención se refiere al almacenamiento de energía térmica. Más particularmente, la invención se refiere a una instalación de almacenamiento de energía térmica en la que se proporciona un material absorbente de energía mediante un lecho empaquetado. El documento DE 4206695 A1 divulga una instalación de almacenamiento de energía térmica que tiene las características del preámbulo de la reivindicación 1.

### Antecedentes de la invención

10 La generación de energía a partir de fuentes que usan combustibles fósiles convencionales está siendo sustituida cada vez más por el uso de energía renovable de uno u otro tipo. En lo que se refiere a la aplicación de la presente patente, la invención es especialmente apropiada para su uso en asociación con plantas de generación de concentración solar o plantas de generación de ciclo combinado, aunque no están limitadas a estas aplicaciones.

15 El uso de la energía solar se asocia con la necesidad de almacenar la energía recogida para su uso en un momento posterior de modo que la energía esté disponible durante la noche o cuando se oscurece el sol, típicamente por nubes. Una forma práctica de almacenar la energía es en la forma de calor (energía térmica) que puede usarse posteriormente para la generación de electricidad, por medio de un ciclo de generación de vapor y turbina y generador asociados.

20 Se han propuesto y están actualmente en uso diferentes instalaciones de almacenamiento de energía térmica, al menos en algún grado. Estas incluyen el almacenamiento de energía térmica en sales fundidas o alternativamente, principalmente como calor latente en el caso de materiales de cambio de fase. Aunque estos han tenido éxito en un mayor o menor grado, hay un campo considerable de mejora, particularmente con relación a la reducción de costes.

25 Los lechos de roca empaquetados se usan también para almacenamiento de energía térmica a altas temperaturas. Se aloja típicamente una pila de rocas en un recinto sustancialmente sellado y se usan para absorber energía térmica de un fluido de transferencia térmica para descargar la energía térmica en un momento posterior. El fluido de transferencia térmica entra típicamente en el recinto sellado a través de una entrada adecuada y calienta la pila de rocas contenida en el recinto desde el exterior de la misma durante un ciclo de carga. Durante un ciclo de descarga, la refrigeración del lecho de roca da como resultado la transferencia de calor al fluido que pasa a través del lecho de roca y sale por medio de la salida del lecho de roca y a continuación a través del recinto en una salida del mismo.

30 En casos en los que el lecho de roca se localiza dentro de un contenedor, puede tener lugar un problema denominado como "el efecto trinquete". Un incremento en la temperatura de las partículas en las rocas que constituyen los lechos de roca conduce a la expansión, que a su vez puede provocar que algunas rocas sean forzadas contra otras rocas o las paredes del recipiente si el coeficiente de expansión térmica del lecho empaquetado es mayor que el del contenedor. Tras la descarga, la temperatura se reduce y las partículas y contenedor se contraen. Si, sin embargo, el coeficiente de expansión térmica del contenedor es mayor que el de las partículas, las partículas se asentarán durante el proceso de carga y con la descarga el contenedor se contraerá más que las partículas. De esta forma, las partículas son restringidas por el contenedor y son sometidas a tensiones, siendo reducidas de ese modo a piezas de roca más pequeñas. Esto puede dañar las paredes del contenedor y/o conducir a que una región superior del lecho de roca vaya reduciéndose gradualmente hasta un grado insatisfactorio.

40 Un problema adicional es que el coste de un recinto sellado puede ser sustancial, particularmente en el caso de grandes instalaciones de almacenamiento de energía.

La presente invención se dirige a acometer estos y otros problemas, al menos en algún grado.

45 La explicación anterior de los antecedentes de la invención está dirigida únicamente a facilitar una comprensión de la presente invención. Debería apreciarse que la explicación no es un reconocimiento o admisión de que cualquiera del material al que se ha hecho referencia era parte del conocimiento general común en la técnica según la fecha de prioridad de la solicitud.

50 En la explicación que sigue, la expresión "lecho empaquetado" se usará para incluir no solamente elementos fabricados de rocas naturales, sino también elementos fabricados de material cerámico, hormigón, subproductos de minería o industriales y cualesquiera otros elementos que tengan una capacidad calorífica apropiada y otras propiedades térmicas.

### Sumario de la invención

De acuerdo con la invención se proporciona una instalación de almacenamiento de energía térmica que comprende las características tal como se definen en la reivindicación 1.

- 5 Características adicionales de la invención prevén que el extremo de suministro de fluido se localice en o cerca de la región superior del lecho empaquetado o, alternativamente, por debajo del lecho empaquetado; para que una superficie externa del lecho empaquetado esté sustancialmente expuesta al ambiente; o alternativamente, la instalación se prevea con una o más estructuras protectoras tales como un tejado para proteger el lecho empaquetado frente a la lluvia o el viento.
- 10 Características aún adicionales de la invención prevén que el conducto se defina por una tubería de material sustancialmente rígido que tiene una región del extremo de intercambio térmico y un extremo de suministro de fluido opuesto a la región del extremo de intercambio térmico; para que el conducto se extienda al menos parcialmente y en general verticalmente a través de una región central del lecho empaquetado con el extremo de intercambio térmico localizado dentro de una región inferior del lecho empaquetado.
- Una característica adicional más de la invención prevé que las aberturas se proporcionen en una región de intercambio térmico del conducto que se extiende sustancialmente entre aproximadamente el 20 % a aproximadamente el 50 % de la altura del lecho empaquetado desde el fondo o cerca del fondo del mismo.
- 15 Características aún adicionales de la invención prevén que el conducto sea una barra hueca, alargada; que la tubería se fabrique de una o más aleaciones de alta temperatura; que la tubería se fabrique sustancialmente de acero y/o hormigón o que la tubería se construya de bolsas de gavión de acero rellenas con el elemento; y que la temperatura elevada esté por encima de 500 °C e incluso posiblemente por encima de 1000 °C.
- 20 Características aún adicionales de la invención prevén que el lecho empaquetado sea una pila de elementos empaquetados alrededor de al menos el extremo de intercambio térmico de la tubería; que el extremo de suministro de fluido de la tubería esté localizado en o cerca de la región superior del lecho empaquetado en el cuyo caso los elementos se empaquetan de modo que el lecho empaquetado y la tubería conjuntamente tienen una forma similar a troncocónica; alternativamente, que el extremo de suministro de fluido de la tubería esté localizado debajo del lecho empaquetado en cuyo caso que el lecho empaquetado puede empaquetarse de modo que el lecho empaquetado y la tubería tengan conjuntamente una forma generalmente cónica o piramidal y que el extremo del lecho de fluido de la tubería se localicen por debajo del lecho empaquetado; o como una alternativa adicional que el lecho empaquetado esté en la forma de un montículo alargado que tiene al menos una región superior de sección transversal triangular o triangular truncada en el que la región del extremo de intercambio térmico del conducto se localiza en una región inferior interior del lecho empaquetado; que los elementos se empaquetan en una pila en general sin perturbar; que la pila de elementos tiene una pendiente descendente en su ángulo natural de reposo; variando el ángulo de reposo entre 25° y 65°, preferentemente entre 34° y 42°; y que el elemento s es roca natural seleccionada de entre granito, gneis o dolerita.
- 30 El tamaño de la instalación depende de la capacidad de almacenamiento de energía térmica requerida. La altura del lecho empaquetado puede estar entre 1 m y 60 m, y el diámetro del conducto puede estar entre 0,2 m y 15 m. El lecho empaquetado puede tener un volumen de aproximadamente 1 m<sup>3</sup> a aproximadamente 300.000 m<sup>3</sup>.
- 35 La invención se extiende a un sistema de almacenamiento de energía térmica que comprende una fuente de energía térmica, una carga de energía térmica en comunicación de fluido con la fuente de energía térmica y una instalación de almacenamiento de energía térmica para almacenar la energía térmica producida por la fuente de energía térmica de modo que suministre la carga de energía térmica en momentos en los que la fuente de energía térmica puede tener una capacidad reducida, incluyendo la instalación de almacenamiento de energía térmica un lecho empaquetado que tiene una región exterior esencialmente sin restringir y un conducto en comunicación de fluido con la fuente de energía térmica y la carga de energía térmica, teniendo el conducto una región del extremo de intercambio térmico y un extremo de suministro de fluido opuesto a la región del extremo de intercambio térmico, caracterizado porque la región del extremo de intercambio térmico se localiza dentro de una región inferior central del lecho empaquetado, permitiendo la región del extremo de intercambio térmico que el fluido de transferencia térmica a una temperatura elevada se mueva desde la fuente de energía térmica dentro del conducto a través del extremo de suministro de fluido para pasar desde el conducto al lecho empaquetado y calentar el lecho empaquetado durante un ciclo de carga, y permitir que el fluido de transferencia térmica a una temperatura elevada sea extraído desde el lecho empaquetado al conducto de modo que sea capaz de salir del conducto durante un ciclo de descarga para suministrar energía térmica a la carga de energía térmica.
- 45
- 50 Características adicionales de este aspecto de la invención prevén que el conducto se defina por una tubería de material sustancialmente rígido que tenga una región del extremo de intercambio térmico y un extremo de suministro de fluido opuesto a la región del extremo de intercambio térmico; que el conducto se extienda al menos parcialmente y en general verticalmente a través de una región central del lecho empaquetado con la región del extremo de intercambio térmico localizada dentro de una región inferior del lecho empaquetado, teniendo el conducto aberturas en al menos en o cerca de la región del extremo de intercambio térmico, permitiendo las aberturas que el fluido de transferencia térmica a una temperatura elevada se mueva desde la fuente de energía térmica al interior del conducto a través del extremo de suministro de fluido para pasar desde el conducto al lecho empaquetado y calentar el lecho empaquetado durante un ciclo de carga, y permitir que el fluido de transferencia térmica a una temperatura elevada sea extraído del lecho empaquetado al interior del conducto de modo que sea capaz de salir del conducto durante un ciclo de descarga para suministrar energía térmica a la carga de energía térmica. De acuerdo con un
- 60

aspecto de la invención, la fuente de energía térmica es una planta de generación de concentración solar, la carga de energía térmica es una turbina de vapor, y el fluido de transferencia térmica es un gas.

5 El sistema puede incluir un soplador o ventilador para forzar al fluido de transferencia térmica hacia el conducto durante el ciclo de carga y/o para forzar al fluido de transferencia térmica hacia la carga de energía térmica durante el ciclo de descarga.

10 La invención se extiende a un procedimiento para construir una instalación de almacenamiento de energía térmica que comprende las etapas de montar un conducto que tiene una región del extremo de intercambio térmico y un extremo de suministro de fluido opuesto a la región del extremo de intercambio térmico y empaquetar un lecho empaquetado sin restringir sustancialmente el lecho empaquetado, disponiéndose en pendiente descendente el lecho empaquetado en su ángulo de reposo natural, caracterizado porque el lecho empaquetado se empaqueta alrededor de al menos la región del extremo de intercambio térmico del conducto.

15 Características adicionales de este aspecto de la invención prevén una etapa de montaje de un conducto de sustancialmente un material rígido en una orientación generalmente vertical, teniendo el conducto aberturas a lo largo de la región del extremo de intercambio térmico; y prevén una etapa de empaquetado de un lecho empaquetado alrededor de al menos la región del extremo de intercambio térmico de la tubería de modo que lecho empaquetado y la tubería tomen conjuntamente la forma requerida en la que la región del extremo de intercambio térmico del conducto se localiza en una región inferior interior del lecho empaquetado.

El procedimiento puede incluir la etapa de montar una o más estructuras protectoras para proteger el lecho empaquetado de la lluvia o el viento, preferentemente un tejado.

20 Para que la invención se comprenda más completamente, se describirán ahora implementaciones de la misma con referencia a los dibujos adjuntos.

#### **Breve descripción de los dibujos**

La invención se describirá ahora, solamente a modo de ejemplo, con referencia a los dibujos adjuntos en los que:

- 25 la Figura 1 es una vista en sección esquemática que ilustra una realización de una instalación de almacenamiento de energía térmica de acuerdo con la invención;
- la Figura 2 es una vista en sección esquemática que ilustra una segunda realización de una instalación de almacenamiento de energía térmica de acuerdo con la invención;
- la Figura 3 es una ilustración esquemática de una realización del sistema de almacenamiento de energía térmica de acuerdo con la invención;
- 30 la Figura 4A es una ilustración de la salida de simulación indicando la temperatura en una instalación de almacenamiento de energía térmica de acuerdo con la invención durante un ciclo de carga;
- la Figura 4B es una ilustración de la salida de simulación indicando la temperatura en la instalación de almacenamiento de energía térmica de la Figura 4A cerca del final de un ciclo de descarga;
- 35 la Figura 5 es una salida de simulación que ilustra la temperatura de descarga a lo largo del tiempo en una instalación de almacenamiento de energía térmica de acuerdo con la invención;
- la Figura 6 es una salida de simulación que ilustra una caída de presión en diferentes regiones de una instalación de almacenamiento de energía térmica de acuerdo con la invención;
- la Figura 7 es una vista en sección esquemática que ilustra una realización de una instalación de almacenamiento de energía térmica de acuerdo con la invención, en la que la instalación incluye un tejado;
- 40 la Figura 8 es un alzado en sección esquemática que ilustra una realización alternativa de una instalación de almacenamiento de energía térmica de acuerdo con la invención; y
- la Figura 9 es una vista en sección transversal de la realización ilustrada en la Figura 8 tomada a lo largo de la línea IX-IX.

#### **Descripción detallada con referencia a los dibujos**

45 Se muestra en la Figura 1 una realización de una instalación (1) de almacenamiento de energía térmica de acuerdo con la invención. La instalación (1) de almacenamiento de energía térmica comprende un conducto definido por una tubería (3) rígida que se extiende en general verticalmente a través de una región central del lecho (5) empaquetado. El lecho (5) empaquetado se empaqueta alrededor de la tubería (3) de modo que su región (7) superior esté esencialmente sin restringir. La tubería (3) tiene un extremo (9) de intercambio térmico localizado dentro de una  
50 región inferior del lecho (5) empaquetado y un extremo (11) de suministro de fluido opuesto al extremo (9) de intercambio térmico localizado en una región superior del lecho (5) empaquetado.

El extremo (11) de suministro de fluido se configura para actuar como una entrada para el fluido de transferencia térmica a una temperatura elevada que se mueve al interior de la tubería (3) durante un ciclo de carga, y para actuar como una salida para el fluido de transferencia térmica a una temperatura elevada que se mueve fuera de la tubería (3) durante un ciclo de descarga.

La tubería (3) tiene una región (13) del extremo de intercambio térmico adyacente al extremo (9) de intercambio

térmico a lo largo de la que está provista con aberturas (15). En la presente realización de la invención, la región (13) del extremo de intercambio térmico es una región perforada, en la que se definen aberturas en la tubería, extendiéndose alrededor de un cuarto inferior de la tubería (3) y por ello también aproximadamente en el 25 % de la altura del lecho (5) empaquetado. El resto de la pared de la tubería (3) es sustancialmente continua o sólida, como se ilustra esquemáticamente en la Figura 1.

Durante un ciclo de carga, el fluido de transferencia térmica pasa a través de las aberturas y se transfiere calor desde el fluido de transferencia térmica al lecho (5) empaquetado para almacenar calor en el lecho (5) empaquetado. Este proceso se invierte durante un ciclo de descarga cuando el calor se transfiere desde el lecho (5) empaquetado en un fluido de transferencia térmica que a continuación fluye a través de las aberturas para recuperar el calor almacenado en el lecho (5) empaquetado mediante su absorción al interior del fluido de transferencia térmica.

Una superficie externa del lecho (5) empaquetado puede exponerse al ambiente y está sustancialmente libre de modo que el lecho (5) empaquetado puede expandirse y contraerse cuando se calienta y enfría. El lecho (5) empaquetado consiste en una pila de elementos empaquetados alrededor de la tubería (3) de modo que el lecho (5) empaquetado y la tubería (3) tienen conjuntamente una forma similar a troncocónica, como se muestra en la Figura 1.

La instalación (1) puede construirse mediante el montaje de la tubería (3) u otro conducto en una orientación generalmente vertical y el empaquetado del lecho (5) empaquetado alrededor de la tubería sin restringir sustancialmente el lecho (5) empaquetado. El lecho (5) empaquetado puede empaquetarse en una pila generalmente sin perturbar, en otras palabras, puede permitirse que la pila de elementos esté en pendiente descendente en su ángulo de reposo natural. El ángulo natural de reposo de los elementos puede variar dependiendo del tipo y tamaño de los elementos usados, por ejemplo, entre 25° y 65°, y está preferentemente entre 34° y 42°. En esta realización, el tipo de roca usada es una roca natural que es dolerita que tiene un ángulo natural de reposo de 38°, la altura del lecho (5) empaquetado y la tubería (3) es de aproximadamente 50 m y el diámetro de la tubería es de aproximadamente 10 m.

La instalación (1) de almacenamiento de energía térmica es capaz de almacenar energía térmica producida por la fuente de energía térmica de modo que la suministre a una carga de energía térmica durante los momentos en los que la fuente de energía térmica puede tener una capacidad reducida o nula.

Se muestra en la Figura 2 una realización adicional de una instalación (61) de almacenamiento de energía térmica de acuerdo con la invención. La instalación (61) de almacenamiento de energía térmica incluye una tubería (63) rígida, una parte de la cual se extiende desde el fondo (77) del lecho (65) empaquetado en una región central del mismo. El lecho (65) empaquetado se empaqueta alrededor del extremo (69) de intercambio térmico de la tubería (63) de modo que la región (67) exterior esté esencialmente sin restringir y de modo que el lecho empaquetado y tubería conjuntamente tengan una forma generalmente cónica o piramidal. El extremo (69) de intercambio térmico y la región (73) del extremo de intercambio térmico que incluye aberturas (75) se incluyen en una región inferior del lecho (65) empaquetado y se localiza un extremo (71) de suministro de fluido en oposición al extremo (69) de intercambio térmico por debajo del lecho (65) empaquetado. En esta realización, el extremo (71) de suministro de fluido de la tubería (63), localizado por debajo del lecho empaquetado, se extiende a través de un soporte inferior o del terreno sobre el que reposa el lecho (65) empaquetado de modo que sobresalga en una región inferior central del lecho (65) empaquetado. La región (73) del extremo de intercambio térmico es una región perforada, en la que se definen aberturas en la tubería, extendiéndose aproximadamente el 25 % de la altura del lecho (65) empaquetado. El resto de la pared de la tubería (63) que se extiende por debajo del soporte o terreno es sustancialmente continua.

La figura 3 ilustra una realización de un sistema (17) de almacenamiento de energía térmica en el que la instalación (1) de almacenamiento de energía térmica tal como se ha descrito con referencia a la Figura 1 está en comunicación de fluido con una fuente (19) de energía térmica y una carga (21) de energía térmica. En esta realización, la fuente (19) de energía térmica es una planta de generación de concentración solar y la carga (21) de energía térmica es una turbina de vapor.

El sistema (17) incluye además un soplador (23) o ventilador, una primera válvula (25) del ciclo de carga, una segunda válvula (27) del ciclo de carga, una primera válvula (29) del ciclo de descarga y una segunda válvula (31) del ciclo de descarga. El soplador (23) está en comunicación de fluido con la fuente (19) de energía térmica, la carga (21) de energía térmica y la instalación (1) de almacenamiento de energía térmica y se configura para forzar al fluido de transferencia térmica al interior de la tubería (3) de la instalación (1) de almacenamiento de energía térmica durante el ciclo de carga y para forzar al fluido de transferencia térmica hacia la carga (21) de energía térmica durante el ciclo de descarga. En esta realización, el fluido de transferencia térmica es aire que se calienta a una temperatura en la región de 500 °C a 650 °C.

En otras realizaciones de la invención, el fluido de transferencia térmica puede calentarse a temperaturas por encima de 500 °C o incluso de 1000 °C.

5 Son posibles numerosas disposiciones diferentes dentro del alcance de la invención y, como se ilustra en las Figuras 8 y 9, el lecho (81) empaquetado puede asumir la forma de un montículo alargado que tiene en general una forma triangular o triangular truncada en su sección transversal, como se muestra en la Figura 9. También, en dicho caso, la tubería (82) de entrada puede localizarse sobre, o de alguna forma por encima de, la superficie (83) sobre la que se soporta el lecho empaquetado en cuyo caso la región (84) de entrada estaría térmicamente aislada para retener el calor dentro del fluido de transferencia térmica que fluye o bien a la región de interior del lecho empaquetado durante un ciclo de carga o bien fuera de ella durante el ciclo de descarga. Como en los casos anteriormente descritos, el lecho empaquetado podría encerrarse en un recinto (86) protector frente a lluvia y viento que tenga una entrada/salida (87) para que el fluido de transferencia térmica fluya fuera del recinto durante un ciclo de carga y al interior del recinto durante un ciclo de descarga.

10 Con el uso, durante un ciclo de carga, la primera y segunda válvulas (25, 27) del ciclo de carga se abren para permitir que el fluido de transferencia térmica a una temperatura elevada entre en la tubería (3) a través del extremo (11) de suministro de fluido. Las primeras válvulas (29) del ciclo de descarga deben cerrarse de modo que no haya comunicación de fluido a la carga (21) de energía térmica y la segunda válvula de descarga (31) puede abrirse o cerrarse dependiendo de la demanda u otra de la carga (21) de energía térmica. Las aberturas (15) en la tubería (3) permiten que el fluido de transferencia térmica en la tubería (3) pase desde la tubería (3) al lecho (5) empaquetado y caliente el lecho (5) empaquetado. En esta forma, la energía térmica desde la fuente (19) de energía térmica es absorbida por el lecho (5) empaquetado en una región interior del mismo.

15 Debería apreciarse que la segunda válvula (31) del ciclo de descarga puede dejarse típicamente abierta durante el ciclo de carga para permitir que una parte del fluido de transferencia térmica a una temperatura elevada fluya directamente a la carga (21) de energía térmica, contorneando la instalación (1) de almacenamiento de energía térmica.

20 Durante un ciclo de descarga, tanto la primera como la segunda válvulas (29, 31) del ciclo de descarga están abiertas. El fluido de transferencia térmica a una temperatura elevada es extraído a través del lecho (5) empaquetado al interior de la tubería (3) por medio de las aberturas (15) y las válvulas (29, 31) abiertas permiten que el fluido de transferencia térmica salga de la tubería (3) a través del extremo (11) de suministro de fluido y suministren energía térmica a la carga (21) de energía térmica. La primera y segunda válvulas (25, 27) del ciclo de carga se cierran durante un ciclo de descarga de modo que no haya comunicación de fluidos entre la fuente (19) de energía térmica y el lecho empaquetado.

25 Se creó un modelo numérico de una instalación de almacenamiento de energía térmica de acuerdo con la invención y se simuló usando ANSYS FLUENT, un producto de software de dinámica de fluidos computacional (CFD) comercial.

30 En este modelo, la fuente de energía térmica usada para cargar un lecho de roca empaquetado se seleccionó como el gas de escape de un ciclo de generación de turbina de gas. Se simuló un ciclo de carga y un ciclo de descarga. La duración del ciclo de carga se estableció en 8 horas y la duración del ciclo de descarga se estableció en 30 horas. Los parámetros usados en la simulación se proporcionan en la Tabla 1 a continuación.

Tabla 1: Parámetros del modelo numérico

Temperatura del fluido de transferencia térmica suministrado desde el lecho de roca	560 °C
Temperatura ambiente	25 °C
Caudal en masa del fluido de transferencia térmica	2272 kg/s
Porosidad global del lecho de roca	0,44
Densidad de la roca (dolerita)	2819 kg/m <sup>3</sup>
Capacidad térmica de la roca	839 J/kg K
Conductividad de la roca	2 W/mK
Altura del lecho de roca	48,14 m
Ángulo de la pila de roca	38°
Volumen de la pila de roca	248231 m <sup>3</sup>
Tamaño de partículas en el lecho de roca	0,05 m
Energía requerida por la carga*	100 MW <sub>e</sub>
<i>*Potencia de salida eléctrica final desde un ciclo de vapor</i>	

35 Se analizaron los contornos de temperatura en el extremo del ciclo de carga y del ciclo de descarga tomados a lo largo de un único plano a través de la instalación de almacenamiento de energía térmica y las ilustraciones de los resultados de la simulación se muestran respectivamente en las Figuras 4A y 4B.

Como se ilustra en la Figura 4A, se forma una región (41) de alta temperatura en una región interior del lecho de

roca, mientras permanece una región (43) de baja temperatura en la región exterior del lecho de roca. De acuerdo con la simulación, la temperatura en la región (41) de alta temperatura es de aproximadamente 560 °C, mientras que la temperatura en la región (43) exterior es de aproximadamente 25 °C. Está presente una región (45) de termoclima entre la región (41) de alta temperatura y la región (43) exterior, que es una región de transición entre zonas caliente y fría en el lecho de roca.

La figura 4B ilustra contornos de temperatura cerca del final del ciclo de descarga. La mayor parte de la energía térmica se extrae del lecho de roca cerca del final del ciclo de descarga de 30 horas. La simulación indicó que hay presente una región (47) de alta temperatura relativamente pequeña de aproximadamente 560 °C en la zona en la que tiene lugar el intercambio térmico entre el lecho de roca y la tubería, existiendo temperaturas más bajas en la mayoría de la tubería (49). La mayoría de lecho de roca está a una temperatura (51) baja de aproximadamente 25 °C.

Se concibe que, en la operación actual, la instalación pueda detener la descarga cuando la temperatura de salida cae por debajo de una cierta temperatura o puede reducir el caudal para conservar la energía disponible. Pueden ser necesarios varios ciclos de carga y descarga antes de que la instalación alcance un estado estable y sea capaz de suministrar 30 horas de almacenamiento a plena carga.

La salida de la simulación de la figura 5 ilustra la temperatura de descarga del fluido de transferencia térmica a lo largo del tiempo en el modelo numérico descrito anteriormente. La temperatura del fluido que sale de la tubería cae a por debajo de 800 K (aproximadamente 530 °C) en aproximadamente 19 horas de descarga.

Se da en la Figura 6 una ilustración de una caída de presión a lo largo de la instalación de almacenamiento de energía térmica modelizada en un ciclo de carga. La caída de presión se muestra a lo largo de un único plano tomado a través de una región central del lecho empaquetado. El gradiente de presión es más alto en la región cerca de la región de intercambio térmico proporcionada por las aberturas en la tubería, y disminuye significativamente cuando fluye el fluido a las regiones exteriores del lecho empaquetado.

Cuando el fluido fluye desde la región central del lecho empaquetado a las regiones exteriores del mismo, el área del flujo a través del lecho empaquetado se incrementa y da como resultado caudales más bajos. De esta forma, se obtiene una caída de presión más baja. Se concibe que puedan adaptarse parámetros tales como la longitud de la región de intercambio térmico y el radio de la tubería para obtener una caída de presión deseada. Por ejemplo, la longitud de la región de intercambio térmico y el radio de la tubería pueden incrementarse ambas para disminuir la caída de presión. El tamaño de partícula de los elementos en el lecho empaquetado también puede alterarse para obtener una caída de presión deseada.

El conducto puede tener cualquier forma y configuración adecuadas siempre que su región del extremo de intercambio térmico se localice dentro de una región inferior central del lecho empaquetado. El conducto puede extenderse verticalmente a través de la región central de un lecho empaquetado o puede entrar en el lecho empaquetado desde debajo del soporte sobre el que reposa el lecho empaquetado. Alternativamente, el conducto puede configurarse de modo que entre en el lecho empaquetado desde un lateral del mismo y se extienda a través del lateral hacia una región central inferior dentro del lecho empaquetado siempre que la parte de entrada del conducto esté adecuadamente aislada para impedir o minimizar la transferencia térmica a una región exterior del lecho empaquetado.

El conducto puede definirse por una tubería, que a su vez puede ser cualquier barra adecuada de forma hueca, alargada fabricada de un material sustancialmente rígido de modo que soporte el calor del fluido de transferencia térmica y del lecho empaquetado, y las fuerzas aplicadas a la misma por el lecho empaquetado. La tubería puede fabricarse, por ejemplo, a partir de una aleación de alta temperatura tal como acero u hormigón, o tanto de acero como de hormigón. Alternativamente, la tubería puede consistir en bolsas de gavión de acero llenas, preferentemente bolsas de gavión de acero inoxidable llenas del elemento, apiladas de modo que formen un conducto o vía de paso para el flujo del fluido de transferencia térmica a su través.

Las aberturas en la región de intercambio térmico de la tubería pueden extenderse en cualquier parte adecuada de la tubería y/o cualquier altura adecuada del lecho empaquetado. La región de intercambio térmico puede extenderse, por ejemplo, entre aproximadamente el 20 % a aproximadamente el 50 % de una altura total de lecho empaquetado.

El fluido de transferencia térmica puede ser un gas o un líquido. El gas puede ser aire, dióxido de carbono, u otro gas no inflamable. El líquido puede ser sal fundida, aceite térmico u otro líquido de transferencia térmica. Puede emplearse cualquier tipo de roca adecuada, por ejemplo pero sin limitación, granito, dolerita o gneis.

Se concibe que la instalación o sistema de almacenamiento de energía térmica de la presente invención pueda incluir una estructura o estructuras protectoras que sirven para proteger el lecho empaquetado frente a lluvia, viento u otros elementos. Preferentemente, la estructura protectora impide que la lluvia alcance el lecho empaquetado aunque no lo aísla sustancialmente del ambiente de modo que el aire tenga la capacidad de escapar desde el lecho empaquetado.

Se ilustra en la Figura 7 una instalación (53) de almacenamiento de energía térmica de acuerdo con la invención. La

realización mostrada en la Figura 7 es similar a la realización mostrada en la Figura 1, y números de referencia iguales representan componentes iguales. En esta realización, la instalación (53) incluye adicionalmente una estructura protectora en la forma de un tejado (55). El tejado (55) tiene una pendiente descendente desde una región (57), del vértice terminando en aleros (59).

5 El tejado (55) es impermeable al agua e impide así que el lecho (5) empaquetado quede expuesto a la lluvia. La pendiente descendente hace que el agua circule hacia abajo del tejado (55) y caiga desde sus aleros (59). En esta forma, se impide que la lluvia alcance el lecho (5) empaquetado. El tejado (55) es permeable al aire para permitir que el aire escape desde el lecho (5) empaquetado.

10 El tejado (55) puede incluir, por ejemplo, ventilaciones (60) de aire que se configuran para no permitir que la lluvia o el agua fluyan hacia el interior pero pueden proporcionarse para permitir al aire fluir a través de ellas. Alternativamente, puede emplearse una membrana a prueba de agua y respirable especialmente en instalaciones más pequeñas. Pueden usarse materiales basados en politetrafluoroetileno (PTFE) tales como Gore-Tex™ para asegurar que la estructura protectora es a prueba de agua mientras permite que el aire pase a través de ella.

15 Se prevé también que puede proporcionarse una estructura de soporte para soportar una región exterior inferior del lecho empaquetado. La estructura de soporte puede, por ejemplo, ser una pared localizada alrededor de los bordes exteriores inferiores del lecho empaquetado. Un soporte o terreno sobre el que reposa el lecho empaquetado puede requerir un tratamiento de cimentación para permitirle soportar las elevadas temperaturas en la región inferior central del lecho empaquetado. De modo similar, puede requerir una supervisión de recogida de humedad.

20 El tamaño de la instalación depende de la capacidad de almacenamiento de energía térmica requerida. La altura del lecho empaquetado puede estar, por ejemplo, entre 1 m y 60 m, y el diámetro de la tubería puede estar, por ejemplo, entre 0,2 m y 15 m. El lecho empaquetado puede tener, por ejemplo, un volumen de aproximadamente 1 m<sup>3</sup> a aproximadamente 300.000 m<sup>3</sup>. El lecho empaquetado es preferentemente suficientemente grande de modo que los elementos estén sustancialmente auto-aislados, protegiendo de ese modo las regiones interiores del lecho empaquetado contra los elementos ambientales tales como viento y lluvia, al menos en algún grado. Pueden usarse también lechos empaquetados más pequeños, tales como lechos empaquetados que tengan un volumen de 1,0 m<sup>3</sup>.

Las dimensiones proporcionadas anteriormente son ejemplares y debería apreciarse que la instalación puede ser sustancialmente mayor en casos en los que se requiere una capacidad de almacenamiento de energía térmica más alta.

30 La invención proporciona por lo tanto una instalación y sistema de almacenamiento de energía térmica y un procedimiento de construcción de dicha instalación. La instalación divulgada puede implementarse, en particular, con plantas de generación de concentración solar o plantas de generación de ciclo combinado, aunque no está limitada a estas aplicaciones.

35 La energía térmica se almacena en una región inferior central del lecho empaquetado, aliviando de ese modo sustancialmente la necesidad de un aislante adicional alrededor del lecho empaquetado, tal como un contenedor sellado. Esta característica puede traducirse en una reducción de costes significativa en la construcción y mantenimiento de la instalación de almacenamiento de energía térmica.

40 Los laterales inclinados, sustancialmente sin perturbación del lecho empaquetado pueden superar el problema de trinquete experimentado cuando un lecho empaquetado se aloja en un contenedor, mediante lo que las partículas se expanden y contraen con el calentamiento y enfriamiento, empaquetándolas conjuntamente más apretadamente y ejerciendo una fuerza sobre el contenedor. El diseño de la instalación puede asegurar también caídas de presión relativamente bajas a lo largo de la mayoría de lecho empaquetado.

45 La instalación de almacenamiento de energía térmica puede construirse de una forma relativamente simple, por ejemplo, montando simplemente la tubería como se ha descrito en el presente documento y empaquetando una pila de elementos alrededor de la tubería con su ángulo de reposo natural. Esto puede reducir los componentes requeridos así como los costes de construcción y/u operación para hacer a los sistemas de almacenamiento de energía térmica económicamente viables. Por ejemplo, puede ser más fácil sustituir el lecho empaquetado al final de su vida útil si el lecho empaquetado no está contenido.

50 A todo lo largo de la especificación y reivindicaciones a menos que el contenido requiera lo contrario la palabra "comprende" o variaciones tales como "comprendido" o "comprendiendo" se entenderá que implican la inclusión de un elemento integrante o grupo de elementos integrantes mencionados pero no la exclusión de cualquier otro elemento integrante o grupo de elementos integrantes.

## REIVINDICACIONES

1. Una instalación (1, 61, 53) de almacenamiento de energía térmica que comprende un lecho (5, 65, 81) empaquetado que tiene una región (7, 67) exterior esencialmente sin restringir y un conducto (3, 63, 82) en comunicación con un interior del lecho (5, 65, 81) empaquetado y que tiene un extremo (11, 71) de suministro de fluido externo, estando la instalación de almacenamiento de energía térmica **caracterizada porque** el conducto (3, 63, 82) tiene una región (13, 73) del extremo de intercambio térmico localizada dentro de una región inferior central del lecho (5, 65, 81) empaquetado y tiene aberturas (15, 75) sobre la región (13, 73) del extremo de intercambio térmico de modo que permita al fluido de transferencia térmica a una temperatura elevada moverse dentro del conducto (3, 63, 82) a través del extremo (11, 71) de suministro de fluido para pasar desde el conducto (3, 63, 82) a un interior del lecho (5, 65, 81) empaquetado para calentar el lecho (5, 65, 81) empaquetado desde una región interior del lecho (5, 65, 81) empaquetado hacia el exterior durante un ciclo de carga y, durante un ciclo de descarga, permitir que el fluido de transferencia térmica sea arrastrado a través de un lecho (5, 65, 81) empaquetado cargado al interior de la región (13, 73) del extremo de intercambio térmico del conducto (3, 63, 82) a una temperatura elevada de modo que salga del extremo (11, 71) de suministro de fluido del conducto (3, 63, 82) en un estado calentado.
2. La instalación de almacenamiento de energía térmica de acuerdo con la reivindicación 1, en la que el extremo (11, 71) de suministro de fluido se localiza en o cerca de una región superior del lecho (5, 65) empaquetado o por debajo del lecho (81) empaquetado, y en el que el fluido de transferencia térmica sale del conducto (3, 63, 82) a través del extremo (11, 71) de suministro de fluido durante el ciclo de descarga.
3. La instalación de almacenamiento de energía térmica de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, en la que una superficie externa del lecho (5, 65, 81) empaquetado está sustancialmente expuesta al medio ambiente.
4. La instalación de almacenamiento de energía térmica de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, que incluye una o más estructuras (55) protectoras para proteger el lecho (5, 65, 81) empaquetado frente a lluvia o viento.
5. La instalación de almacenamiento de energía térmica de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en la que el conducto (3) se define por una tubería de un material sustancialmente rígido que tiene una región (13) del extremo de intercambio térmico y un extremo (11) de suministro de fluido opuesto a la región (13) del extremo de intercambio térmico, extendiéndose el conducto (3) al menos parcialmente y en general verticalmente a través de una región central del lecho (5) empaquetado, localizándose la región del extremo de intercambio térmico dentro de una región inferior del lecho (5) empaquetado.
6. La instalación de almacenamiento de energía térmica de acuerdo con la reivindicación 1, en la que las aberturas (15, 75) se extienden entre aproximadamente el 20 % a aproximadamente el 50 % de la altura del lecho (5, 65, 81) empaquetado.
7. La instalación de almacenamiento de energía térmica de acuerdo con la reivindicación 5, en la que el conducto (3, 63, 82) se fabrica a partir de una o más aleaciones de alta temperatura, preferentemente acero, y/o hormigón o que la tubería consista en bolsas de gabión de acero rellenas con el elemento, y que la temperatura elevada esté entre 500 °C y 1500 °C.
8. La instalación de almacenamiento de energía térmica de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores en la que el extremo (11) de suministro de fluido del conducto (3) se localiza en o cerca de la región superior del lecho (5) empaquetado en cuyo caso los elementos se empaquetan de modo que el lecho (5) empaquetado y el conducto (3) tengan conjuntamente una forma similar a troncocónica.
9. La instalación de almacenamiento de energía térmica de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7 en la que el extremo (71) de suministro de fluido del conducto (63) se localiza debajo del lecho (65) empaquetado en cuyo caso el lecho (65) empaquetado se empaqueta de modo que el lecho (65) empaquetado y el conducto (63) tengan conjuntamente una forma generalmente cónica o piramidal.
10. La instalación de almacenamiento de energía térmica de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7 en la que el lecho (81) empaquetado tiene la forma de un montículo alargado que tiene al menos una región superior de forma triangular o triangular truncada en su sección transversal en la que la región del extremo de intercambio térmico del conducto (82) se localiza en una región inferior interior del lecho (81) empaquetado.
11. La instalación de almacenamiento de energía térmica de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores en la que los elementos del lecho (5, 65, 81) empaquetado se empaquetan en una pila en general sin perturbar, estando en pendiente descendente la pila en su ángulo natural de reposo que varía entre 25° y 65°.
12. La instalación de almacenamiento de energía térmica de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores en la que los elementos del lecho (5, 65, 81) empaquetado son roca natural en la forma de granito, gneis o dolerita.

- 5 13. La instalación de almacenamiento de energía térmica de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que incluye una fuente (19) de energía térmica y una carga (21) de energía térmica en comunicación de fluido con la fuente (19) de energía térmica en la que la instalación (1, 61, 53) de almacenamiento de energía térmica es para almacenar la energía térmica producida por la fuente de energía térmica, de modo que la suministre a la carga (21) de energía térmica durante los momentos en los que la fuente (19) de energía térmica puede tener una producción reducida.
- 10 14. La instalación de almacenamiento de energía térmica de acuerdo con la reivindicación 13, en la que la fuente (19) de energía térmica es una planta de generación de concentración solar y en la que se proporciona un soplador (23) o ventilador para forzar al fluido de transferencia térmica hacia el conducto (3, 63, 82) durante el ciclo de carga y/o para forzar al fluido de transferencia térmica hacia la carga (21) de energía térmica durante el ciclo de descarga.
- 15 15. Un procedimiento de construcción de una instalación (1, 61, 53) de almacenamiento de energía térmica de acuerdo con la reivindicación 1 que comprende las etapas de montar un conducto (3, 63, 82) que tiene una región (13, 73) del extremo de intercambio térmico y un extremo (11, 71) de suministro de fluido opuesto a la región (13, 73) del extremo de intercambio térmico y empaquetar un lecho (5, 65, 81) empaquetado alrededor del conducto (3, 63, 82) sin restringir sustancialmente al lecho (5, 65, 81) empaquetado, estando el lecho (5, 65, 81) empaquetado en pendiente descendente en su ángulo de reposo natural, en el que la región (13, 73) del extremo de intercambio térmico del conducto (3, 63, 82) se localiza en una región inferior interior del lecho (5, 65, 81) empaquetado.

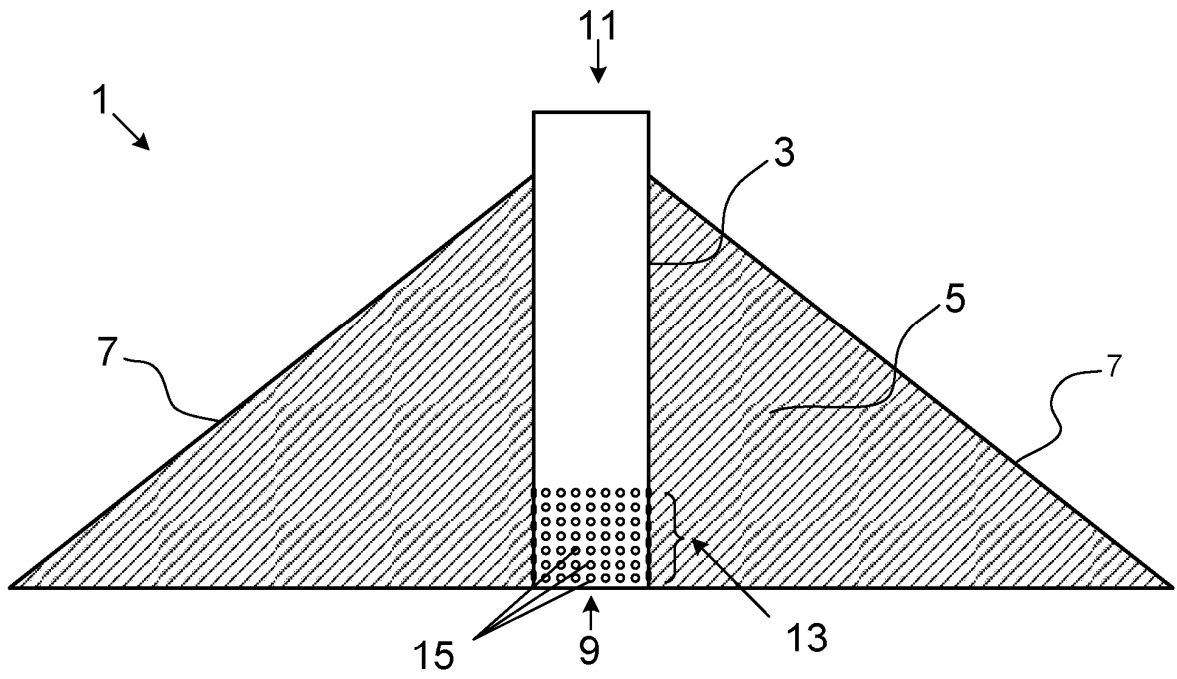


Figura 1

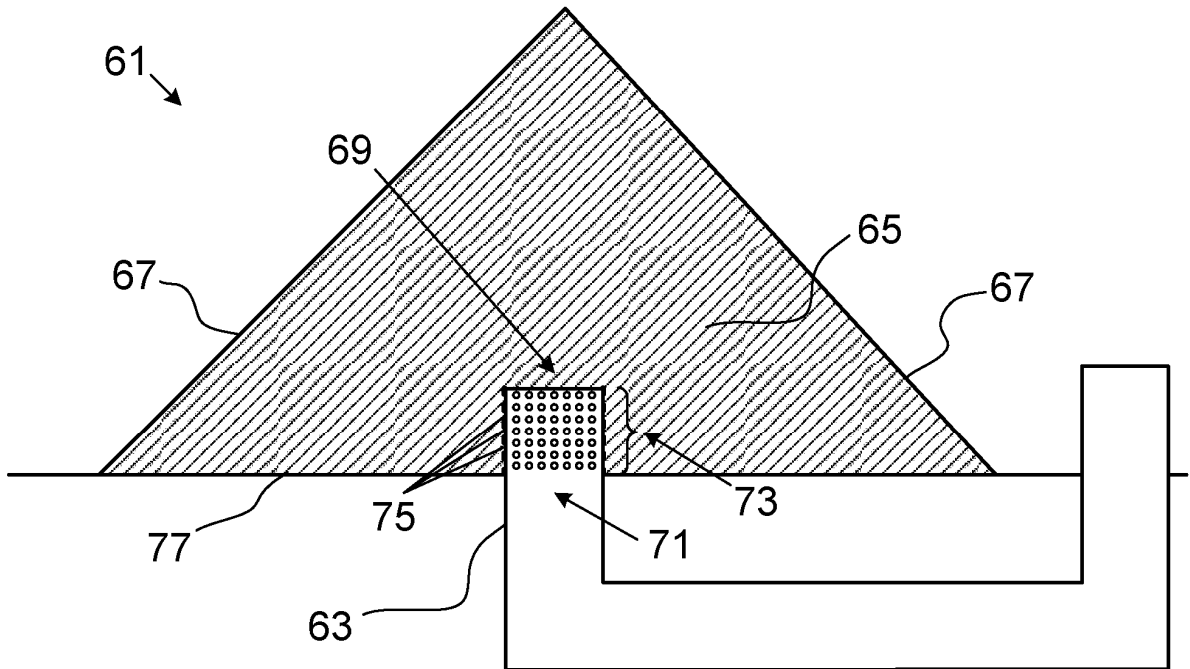


Figura 2

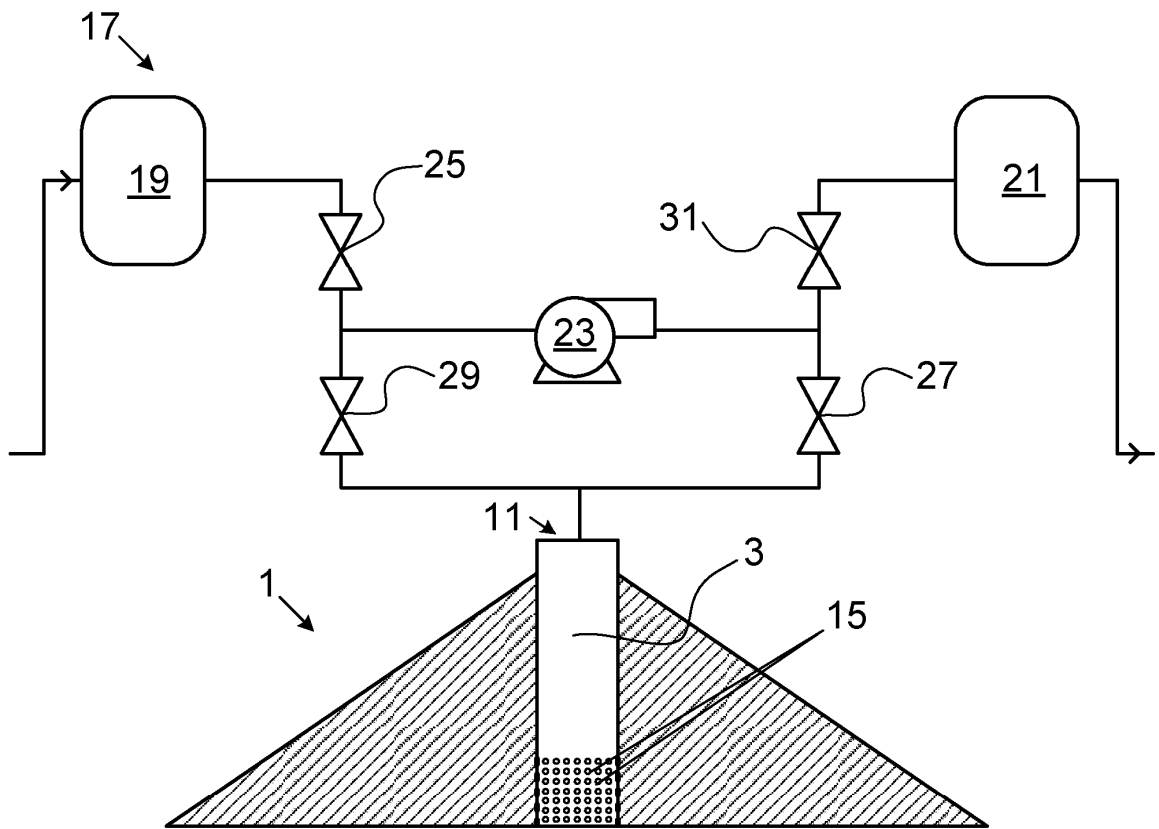


Figura 3

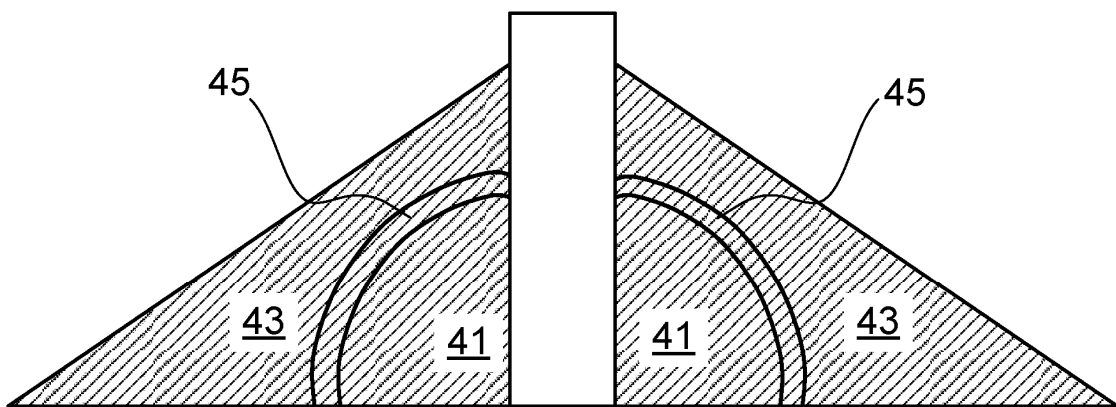


Figura 4A

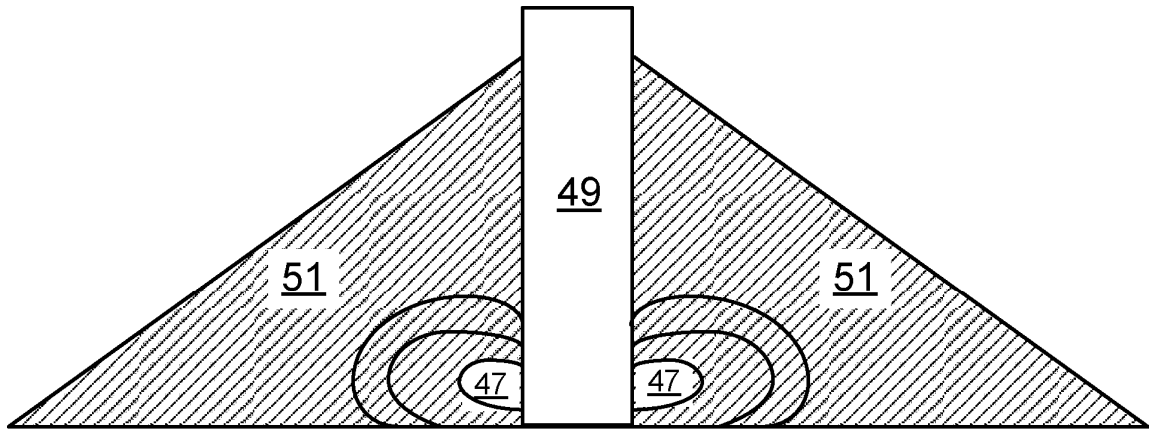


Figura 4B

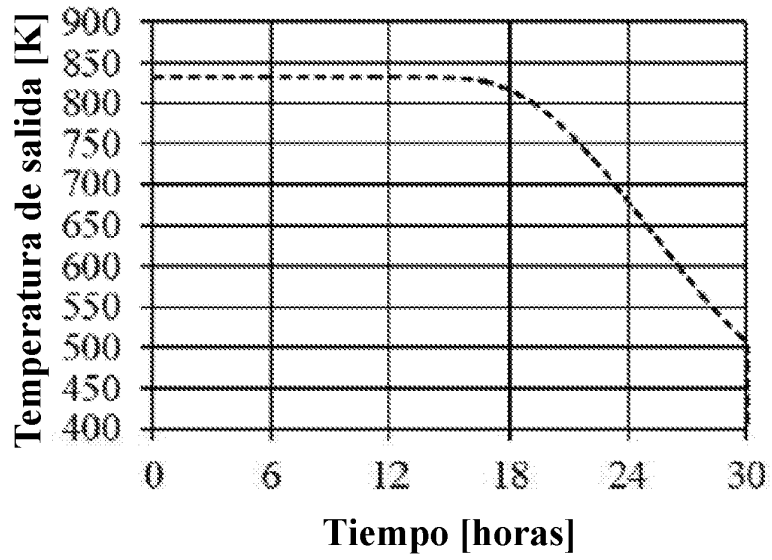


Figura 5

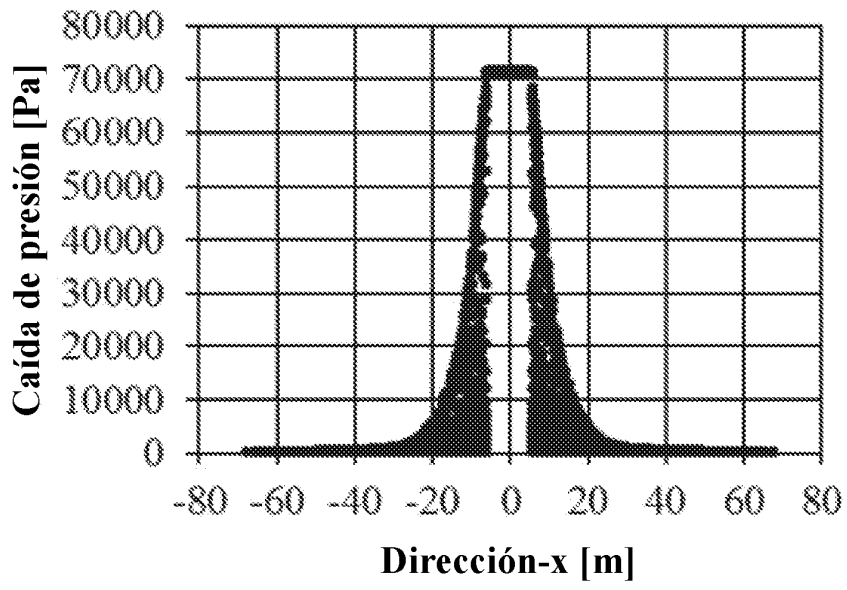


Figura 6

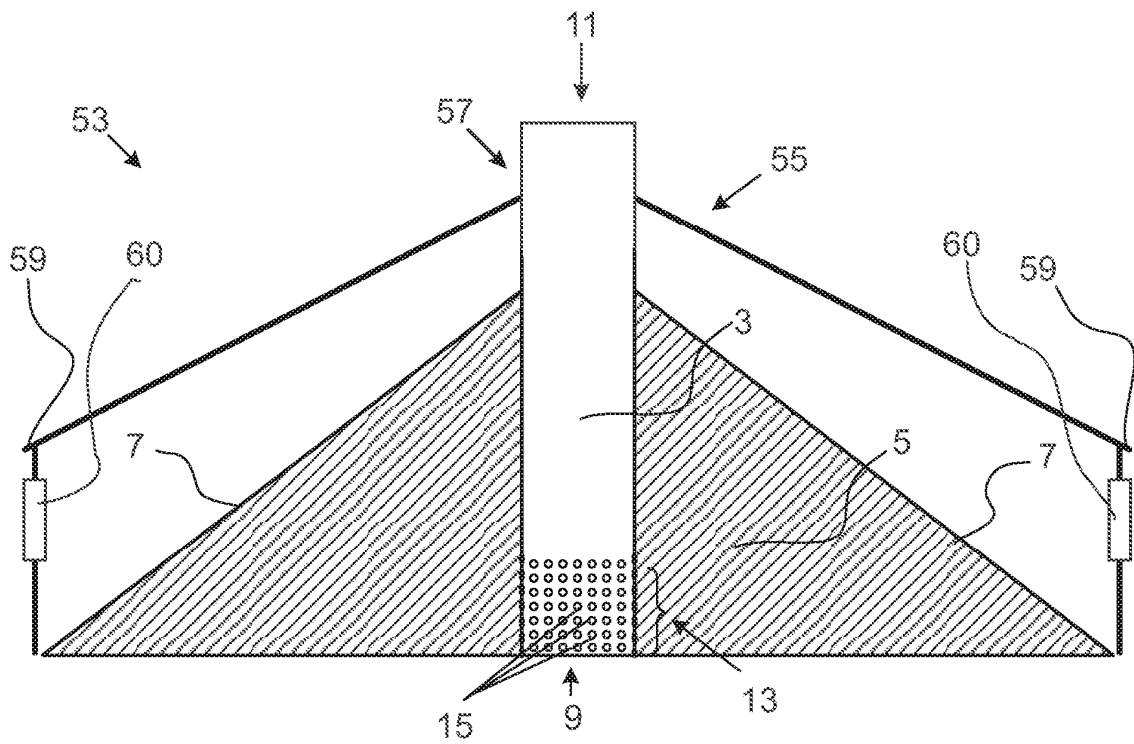


Figura 7

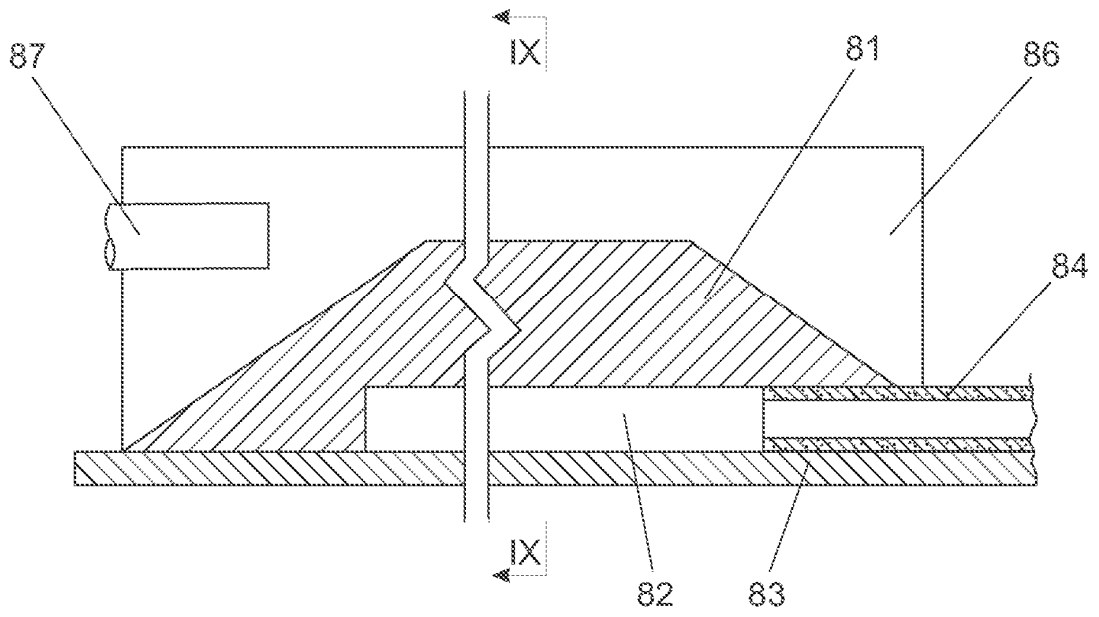


Figura 8

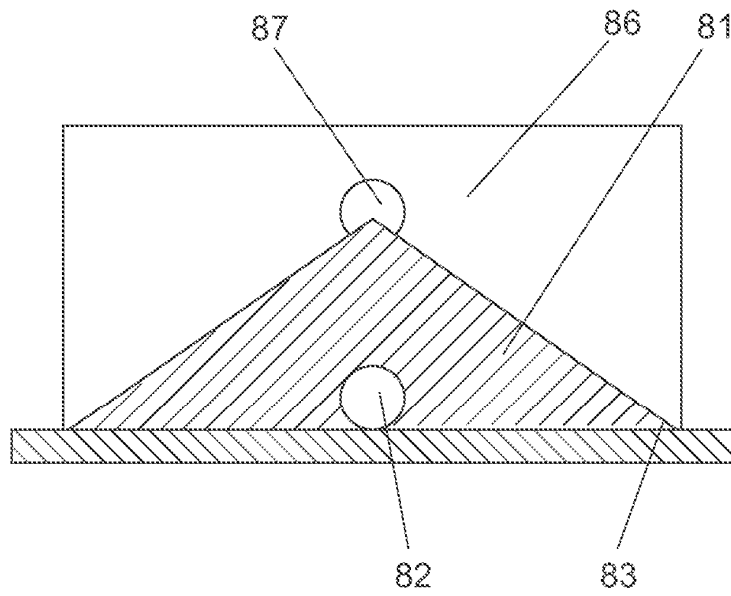


Figura 9