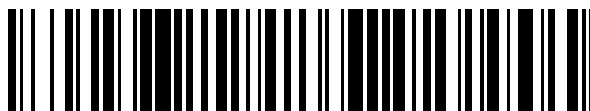


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 715 405**

51 Int. Cl.:

F28D 20/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **18.03.2014 PCT/IB2014/059918**

87 Fecha y número de publicación internacional: **30.10.2014 WO14174384**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **18.03.2014 E 14721013 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **07.11.2018 EP 2989405**

54 Título: **Instalación de almacenamiento de energía térmica en lecho rocoso compacto**

30 Prioridad:

26.04.2013 ZA 201303068

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

04.06.2019

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

KRÖGER, DETLEV GUSTAV

74 Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

ES 2 715 405 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 en lecho rocoso compacto

Campo de la invención

5 Esta invención se refiere a una instalación de almacenamiento térmico en lecho rocoso compacto para su uso en el almacenamiento de energía térmica que se ha derivado desde alguna fuente adecuada.

Antecedentes de la invención

10 La generación de energía a partir de fuentes que usan combustibles fósiles convencionales se está reemplazando cada vez más por el uso de energía renovable de un tipo u otro. Por lo que respecta a la presente solicitud de patente, la invención es especialmente apropiada para su uso en asociación con plantas de energía de concentración solar o plantas de energía de ciclo combinado, aunque no se limita a estas aplicaciones.

15 El uso de energía solar está asociado con la necesidad de almacenar la energía solar obtenida para su uso en un momento posterior de modo que la energía esté disponible por la noche o cuando se oscurezca el sol, normalmente por una nube. Un modo práctico de almacenar energía es en forma de calor (energía térmica) que puede usarse posteriormente para la generación de electricidad, por medio de un ciclo de generación de vapor y una turbina y un generador asociados.

20 Se han propuesto diferentes instalaciones de almacenamiento de energía térmica y están en uso actualmente, al menos hasta cierto punto. Estas incluyen el almacenamiento de energía térmica en sales fundidas o de manera alternativa, principalmente como calor latente en el caso de materiales de cambio de fase. Aunque estas sean satisfactorias en mayor o menor medida, existe un alcance considerable para la mejora, particularmente en la reducción de costes.

25 Se han usado lechos compactos de cerámica para almacenamiento térmico a altas temperaturas (> 500°C), por ejemplo, regeneradores en fábricas de vidrio y hornos Cowper en funderías de hierro. El uso de lechos rocosos compactos ha recibido, por otro lado, una atención considerable desde un punto de vista teórico, pero, por lo que sabe el solicitante, no se ha implementado de manera apreciable a altas temperaturas en la práctica, aunque se sabe que actualmente se está construyendo en Marruecos una gran instalación de almacenamiento de roca a alta temperatura. La falta de uso general es más probable debido al hecho de que las propuestas existentes para instalaciones de almacenamiento de lecho rocoso compacto son relativamente costosas o poco prácticas, o ambas. Las propuestas incluyen la formación de un lecho rocoso compacto en excavaciones en el terreno utilizando principalmente el terreno como medio aislante.

30 El documento US5477703 (Hanchar *et al.*) describe una celda geométrica y sistema de recuperación, en el que un conjunto de intercambiador de calor subterráneo está cubierto con una capa impermeable de plástico, luego roca machacada o grava. El orificio relleno se llena luego con líquido para aumentar transferencia de calor entre el líquido y conjunto de intercambiador de calor enterrado. El preámbulo de la reivindicación 1 se basa en este documento.

35 El documento US4362149 (Thomson) describe un sistema de almacenamiento de energía térmica que tiene un fluido de recogida de calor en una relación de intercambio de calor con una fuente de calor o de energía térmica, conteniendo un alojamiento rocas para almacenamiento de calor irrigado con un gas de transferencia de calor. El gas intercambia calor con el fluido de recogida de calor, y el flujo del gas y el fluido puede invertirse para extraer calor de las rocas, que después puede hacerse pasar a un fluido de trabajo.

40 El documento US4299270 (McGrath) describe un disipador térmico bajo un edificio, en el que se hace circular agua a través de una capa permeable poco profunda cerca de la superficie, y en la tierra. Se intercambia calor mediante conducción y se recupera mediante bombeo desde un nivel profundo y mediante conducción térmica o ambos.

El documento US4139321 (Werner) describe un sistema de almacenamiento de calor o frío que utiliza una pluralidad de canales cavados directamente en la tierra y llenados con rocas que se usan para absorber calor o frío para su almacenamiento. El sistema tiene conductos para portar calor o frío a las rocas.

45 Sumario de la invención

50 Según la invención, se proporciona una instalación de almacenamiento de energía térmica en lecho rocoso compacto que comprende espacios primero y segundo separados por un lecho rocoso de unidades rocosas individuales de manera que puede fluir fluido de trabajo entre los espacios primero y segundo por medio de intersticios entre unidades rocosas que forman el lecho rocoso con el fin de permitir la transferencia de calor hasta o desde el lecho rocoso, en el uso, y al menos un conducto de comunicación asociado con cada uno de los espacios primero y segundo para que fluya un fluido de trabajo al interior o hacia fuera de los espacios primero y segundo, caracterizándose la instalación de almacenamiento de energía por que el lecho rocoso es en forma de una pila de rocas con el primer espacio estando formado entre una superficie superior de la pila y un cerramiento espaciado hacia arriba desde la superficie superior de la pila, y el segundo espacio está formado generalmente hacia la parte

inferior de la pila de rocas con el segundo espacio cerrado definiéndose por una superficie de una cámara interna en forma de uno o más pasos o túneles definidos por una parte de una superficie inferior de la pila rocosa y una parte de un suelo del cerramiento y en la que la superficie inferior de la pila rocosa incluye una red de soporte y rocas más grandes o rocas más grandes solamente para soportar las rocas del lecho compacto y mantener el segundo espacio. El cerramiento tiene un tejado, paredes y un suelo. Características adicionales de la invención permiten que el cerramiento tenga un tejado que está preferiblemente aislado térmicamente, paredes y un suelo; que el suelo tenga una zona central inferior y zonas laterales y de extremo ligeramente inclinadas que se extienden hacia arriba en una pendiente suave hacia paredes laterales inferiores que soportan el tejado, o paredes de extremo; que el primer espacio cerrado se defina por una superficie superior de la pila rocosa y el tejado; y que uno o ambos de los espacios primero y segundo tengan asociados con el mismo al menos dos o más conductos de comunicación que pueden usarse de manera selectiva para un procedimiento de absorción de energía térmica y un procedimiento de uso de energía térmica. Características todavía adicionales de la invención permiten que el lecho rocoso consista en rocas seleccionadas a partir de tipos de roca tales como (aunque no limitados a) granito, dolerita, gneis y corneana; que las rocas sean generalmente de tamaño similar y, preferiblemente de desde 10 hasta 50 mm de tamaño; que las rocas sean o bien redondeadas o bien estén machacadas; y que la pila rocosa tenga una parte superior y lados planos que formen una pendiente hacia abajo en un ángulo de reposo natural. La altura de pila rocosa será normalmente de entre 1 - 15 m.

El ángulo de reposo puede oscilar entre 20 - 50°. Para la mayor parte de las rocas machacada, es habitualmente de 30 - 40 °, aunque puede variar dependiendo de las características de partícula.

El tamaño de la instalación depende totalmente de la capacidad deseada (energía almacenada y salida de potencia térmica máxima) y la fuente de energía térmica disponible que carga el lecho.

La instalación puede cubrir un área tan pequeña como de unos pocos metros cuadrados, o varios miles de metros cuadrados o más. Cuando el tamaño es de tal manera que el aumento a escala adicional aumenta el coste no linealmente debido a los requisitos de la estructura de contención, pueden construirse varios lechos pequeños en lugar de un solo lecho grande. De este modo, si se desea, puede lograrse una salida de potencia térmica de miles de megavatios, para capacidades térmicas de miles de megavatios-horas.

Ahora se describirán diversas realizaciones propuestas de la invención con referencia a los dibujos adjuntos con el fin de que las características anteriores y otras características de la invención puedan entenderse más completamente.

30 Breve descripción de los dibujos

En los dibujos:

la figura 1 es un alzado en sección transversal esquemático de una primera realización de instalación de almacenamiento de energía térmica según esta invención.

La figura 2 es un alzado en sección longitudinal esquemático de la realización de la invención ilustrada en la figura 1;

35 la figura 3 es un alzado en sección transversal esquemático de una segunda pero mayor realización de instalación de almacenamiento de energía térmica según la invención;

la figura 4 es un alzado en sección longitudinal esquemático de la realización de la invención ilustrada en la figura 3;

la figura 5 es un alzado en sección transversal esquemático de una tercera realización de instalación de almacenamiento de energía térmica según la invención;

40 la figura 6 es una vista en planta en sección esquemática tomada aproximadamente a lo largo de la línea VI - VI en la figura 5;

la figura 7 es una vista en planta en sección esquemática similar a la figura 6 pero que muestra una variación en la disposición de y,

45 la figura 8 es un diagrama esquemático que ilustra una disposición en la que puede emplearse una instalación de almacenamiento de energía térmica de la invención.

Descripción detallada con referencia a los dibujos

Haciendo referencia ahora a los dibujos, una realización de instalación (1) de almacenamiento de energía térmica en lecho rocoso compacto comprende una pila (2) de unidades rocosas individuales y espacios primero y segundo, (3) y (4) respectivamente, separados por el lecho rocoso de manera que puede fluir fluido de trabajo entre los espacios primero y segundo por medio de intersticios entre unidades rocosas que forman el lecho rocoso. Al hacerlo, el calor puede o bien transferirse desde el fluido de trabajo hasta el lecho rocoso con el fin de almacenar calor en el lecho rocoso o bien puede transferirse desde el lecho rocoso hasta un fluido de trabajo para recuperar el calor almacenado en el lecho rocoso absorbiéndolo al interior del fluido de trabajo, tal como puede ser el caso.

- 5 El primer espacio (3) está formado entre una superficie (5) superior de la pila de rocas y un tejado (6) arqueado de un cerramiento espaciado hacia arriba desde la superficie superior de la pila. Toda la superficie superior de la pila se expone, por tanto, al primer espacio. En esta realización de la invención, la pila rocosa tiene una parte superior plana y lados circundantes y un extremo que forma una pendiente hacia abajo en un ángulo natural de reposo de las unidades rocosas.
- 10 El tejado está aislado térmicamente por medio de una capa (7) de aislamiento adecuada. El cerramiento tiene también paredes (8) laterales inferiores a lo largo de cada lado de las mismas que soportan el tejado arqueado. Un suelo tiene una zona (11) inferior plana central y zonas (12) laterales que están inclinadas hacia arriba en una pendiente suave hacia las paredes laterales inferiores que soportan el tejado, y hacia paredes (13) de extremo.
- 15 La instalación de almacenamiento de lecho rocoso compacto, en esta realización de la invención, es de forma rectangular generalmente alargada con una forma de arco en sección transversal, tal como se muestra esquemáticamente más claramente en la figura 1. La sección longitudinal de la instalación se ilustra esquemáticamente en la figura 2.
- 20 El segundo espacio (4) en esta realización de la invención está formado generalmente en la parte inferior de la pila de rocas por una cámara interna que es en forma de un paso o túnel definido por una parte de un suelo del cerramiento y una red (16) de soporte que soporta rocas (17) más grandes para retener las rocas más pequeñas del lecho rocoso compacto y mantener el segundo espacio.
- 25 El primer espacio (3) tiene asociado con el mismo dos conductos (21, 22) de comunicación que pueden usarse de manera selectiva. En esta realización de la invención, un conducto (21) de comunicación sirve como una entrada para aire caliente con el fin de calentar el lecho rocoso en un procedimiento de absorción de energía térmica. Dependiendo de la aplicación, el conducto (21) o (22) de comunicación tiene la función de una salida para aire calentado que fluye en una dirección inversa a través del lecho rocoso durante un ciclo de recuperación de energía térmica.
- 30 El segundo espacio (4) tiene un solo conducto (25) de comunicación para conducir aire fuera de la instalación una vez que ha pasado a través del lecho rocoso durante un ciclo de procedimiento de absorción de energía térmica o al interior de la instalación durante un ciclo de recuperación de energía térmica.
- 35 Como el flujo de aire requiere grandes conductos de comunicación en sección transversal y las pérdidas térmicas procedentes del trabajo de los conductos pueden ser significativas, aunque estén aislados, los conductos de comunicación que portan el aire son tan cortos como sea posible.
- 40 La convección natural puede tener una influencia significativa en lechos rocosos compactos. El lecho rocoso se carga, por tanto, introduciendo el aire más caliente en la parte superior del lecho rocoso y el aire más frío se elimina en la parte inferior del mismo. De manera similar, se introduce aire más frío en la parte inferior del lecho rocoso y se elimina aire calentado en la parte superior durante un ciclo de recuperación de energía térmica de calor almacenado en el lecho rocoso. Esto impide, al menos parcialmente, que la convección natural provoque desestratificación.
- 45 Debe observarse que la superficie superior del lecho rocoso es de libre movimiento de modo que puede expandirse y contraerse cuando se calienta y se enfría. Los lados de libre movimiento inclinados del lecho rocoso deben impedir tensión en la estructura de contención provocada por la deformación progresiva, un procedimiento en el que las partículas se expanden y se contraen al calentarse y enfriarse, uniéndose de ese modo más estrechamente y ejerciendo fuerza sobre el depósito.
- 50 Durante el calentamiento del lecho rocoso compacto, aire caliente o gases de combustión entran en el espacio por encima del lecho mediante el conducto de comunicación antes de que fluyan uniformemente a través del lecho. A medida que los gases fluyen a través del lecho se enfrían antes de salir de la instalación de almacenamiento mediante el conducto de comunicación desde el segundo espacio. Durante la recuperación del calor almacenado desde el lecho, el flujo se invierte, entrando aire frío en el lecho mediante el conducto de comunicación desde el segundo espacio para fluir uniformemente a través del lecho compacto caliente y salir por encima del lecho al primer espacio y para salir en este caso a través del conducto (21 o 22) de comunicación.
- 55 Una instalación de almacenamiento de energía térmica según la invención puede usarse en muchas situaciones diferentes. El circuito de la figura 8 se facilita para ilustrar una aplicación práctica de la invención. En ese caso, el circuito puede incluir un compresor (26) para suministrar aire a un receptor (29) solar central en un campo (30) de heliostato. El compresor se acciona mediante una primera turbina (27) accionada por la emisión de una cámara (28) de combustión alimentada a su vez con aire calentado procedente del receptor solar central. Los gases que entran en la primera turbina accionan un primer generador (31) que genera energía eléctrica. El gas de escape procedente de la turbina a una temperatura de aproximadamente 500°C o más se hace pasar a través del lecho compacto de roca descrito anteriormente para elevar la temperatura de las rocas y almacenar energía térmica en el mismo.
- Con el fin de recuperar el calor almacenado del lecho compacto de roca, se hace pasar aire ambiental a través del lecho compacto en la dirección opuesta de modo que entra el segundo espacio por medio del conducto (25) de comunicación, pasa a través del lecho rocoso compacto calentado, y desde ahí a una caldera (32) de un ciclo de

Rankine que incluye una segunda turbina (33) que acciona un segundo generador (34) eléctrico. El vapor de escape puede hacerse pasar a través de un condensador (35) que puede ser o bien de tipo seco o bien híbrido y el líquido de condensación puede reciclarse a la caldera. Los generadores (31) y (34) eléctricos tanto primero como segundo pueden alimentar energía eléctrica a una red (36).

- 5 Las rocas usadas para el almacenamiento térmico no deben deteriorarse y tender de ese modo a bloquear los pasos de aire en el lecho compacto y aumentar la potencia de bombeo requerida. No deben descomponerse químicamente ni desintegrarse a la temperatura de almacenamiento máxima, y deben soportar fatiga de oscilación térmica. Rocas ígneas o rocas metamórficas formadas a temperaturas más altas que la temperatura de almacenamiento prevista no deben descomponerse cuando se calientan, mientras que rocas sedimentarias pueden contener compuestos que se descomponen térmicamente, y será más probable que sean inadecuadas.

- 10 Una instalación de almacenamiento térmico según esta invención puede, por tanto, consistir en un lecho compacto en forma de una pila de rocas muy redondeadas o machacadas en un lecho que opera a altas temperaturas ($\geq 500^{\circ}\text{C}$). Dado que el coste de material de roca es relativamente bajo, puede reemplazarse fácilmente después de algunos años en caso de surgir problemas. Para que las rocas sean efectivas (que tengan una distribución de temperatura relativamente uniforme dentro de cada unidad), el número de Biot basado en el diámetro de roca efectivo debe ser preferiblemente $Bi = hd_r/(2k_r) \leq 0,1 - 0,2$, en donde h es el coeficiente de transferencia de calor de lado de aire, d_r es el diámetro de roca efectivo y k_r es la conductividad térmica de la roca.

- 15 Pueden realizarse numerosas variaciones a la realización de la invención descrita anteriormente sin apartarse del conjunto de instrucciones del presente documento. Simplemente a modo de ejemplo, las figuras 3 y 4 ilustran una disposición que puede usarse para una instalación de almacenamiento de energía térmica mucho mayor y en este caso la instalación está dispuesta de manera muy similar a la descrita anteriormente excepto por el hecho de que el segundo espacio está definido por múltiples túneles (41) paralelos que se extienden a lo largo de la longitud de la instalación.

- 20 Naturalmente, el lecho rocoso compacto puede ser circular en una vista en planta como en el caso de la realización de la invención ilustrada en las figuras 5 y 6. En ese caso, el segundo espacio puede definirse por varios túneles (45) paralelos que se extienden en el suelo (46) del lecho rocoso en la dirección de un diámetro del mismo. Como alternativa, y está ilustrada en la figura 7, los túneles que forman el segundo espacio pueden extenderse radialmente desde el centro del suelo (51) del lecho rocoso. En cualquier caso, el primer espacio (47), tal como se muestra en la figura 5, puede ser un solo conducto (48) que se extiende desde la parte superior de un tejado (49) en forma de cúpula.

- 25 El material de lecho rocoso de esta invención está restringido de manera que puede expandirse y contraerse libremente con temperaturas variables sin crear tensión significativa y el movimiento correspondiente que pueda llevar a la deformación del lecho y confinamiento, o erosión y rotura de la roca. Los pasos de aire que rodean las rocas más grandes impiden la obstrucción; también puede ser posible construir conductos autoportantes por medio de rocas más grandes.

- 30 Pueden realizarse muchas variaciones adicionales especialmente para la construcción de la instalación.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Instalación (1) de almacenamiento de energía térmica en lecho rocoso compacto que comprende espacios (3, 4) primero y segundo separados por un lecho (2) rocoso de unidades rocosas individuales de manera que puede fluir fluido de trabajo entre los espacios (3, 4) primero y segundo por medio de intersticios entre unidades rocosas que forman el lecho (2) rocoso con el fin de permitir la transferencia de calor hasta o desde el lecho (2) rocoso, en el uso, y al menos un conducto (21, 22, 25) de comunicación asociado con cada uno de los espacios primero y segundo para que fluya un fluido de trabajo al interior o fuera de los espacios primero y segundo, caracterizándose la instalación de almacenamiento de energía por que el lecho (2) rocoso es en forma de una pila (2) de rocas, estando el primer espacio (3) formado entre una superficie (5) superior de la pila y una cerramiento que tiene un tejado (6), paredes (8, 13) y un suelo (11, 12) y estando espaciado hacia arriba desde la superficie superior de la pila (2), y el segundo espacio (4) está formado generalmente hacia la parte inferior de la pila (2) de rocas, estando el segundo espacio (4) cerrado definido por una superficie de una cámara interna en forma de uno o más pasos o túneles definidos por una parte de una superficie inferior de la pila (2) rocosa y una parte de un suelo (11, 12) del cerramiento y en la que la superficie inferior de la pila rocosa incluye una red (16) de soporte y rocas (17) más grandes o rocas más grandes solamente para soportar las rocas del lecho compacto y mantener el segundo espacio.
- 10 2. Instalación (1) de almacenamiento de energía térmica en lecho rocoso compacto según la reivindicación 1, en la que el suelo (11, 12) tiene una zona (11) central inferior y zonas (12) laterales y de extremo ligeramente inclinadas que se extienden hacia arriba en una pendiente suave hacia paredes (13) laterales inferiores que soportan el tejado (6), o hacia paredes (6) de extremo.
- 15 3. Instalación (1) de almacenamiento de energía térmica en lecho rocoso compacto según una cualquiera de las reivindicaciones 1 o 2, en la que el primer espacio (3) cerrado está definido por una superficie (5) superior de la pila (2) rocosa y el tejado (6).
- 20 4. Instalación (1) de almacenamiento de energía térmica en lecho rocoso compacto según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que uno o ambos de los espacios (3, 4) primero y segundo tienen asociados con los mismos al menos dos o más conductos (21, 22, 25) de comunicación que pueden usarse de manera selectiva para un procedimiento de absorción de energía térmica y un procedimiento de uso de energía térmica.
- 25 5. Instalación (1) de almacenamiento de energía térmica en lecho rocoso compacto según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que el lecho (2) rocoso consiste en rocas seleccionadas a partir de tipos de roca que son granito, dolerita, gneis y corneana.
- 30 6. Instalación (1) de almacenamiento de energía térmica en lecho rocoso compacto según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que las rocas generalmente son de tamaño similar y se encuentran dentro del intervalo de entre 10 y 50 mm de tamaño.
- 35 7. Instalación (1) de almacenamiento de energía térmica en lecho rocoso compacto según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que las rocas son o bien redondeadas o bien están machacadas.
8. Instalación (1) de almacenamiento de energía térmica en lecho rocoso compacto según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que la pila (2) rocosa tiene una parte superior y unos lados planos que forman una pendiente hacia abajo en un ángulo natural de reposo.

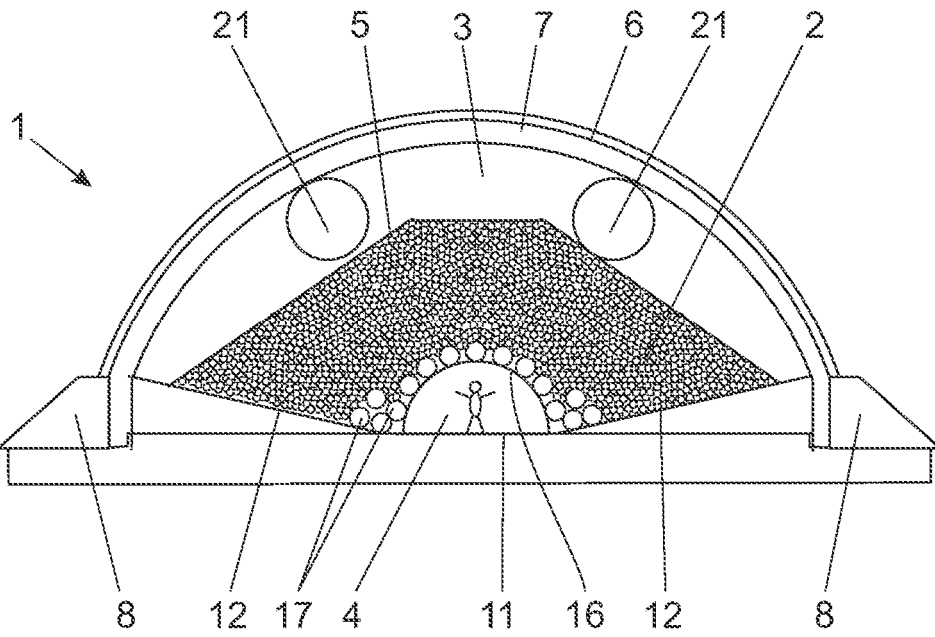


Figura 1

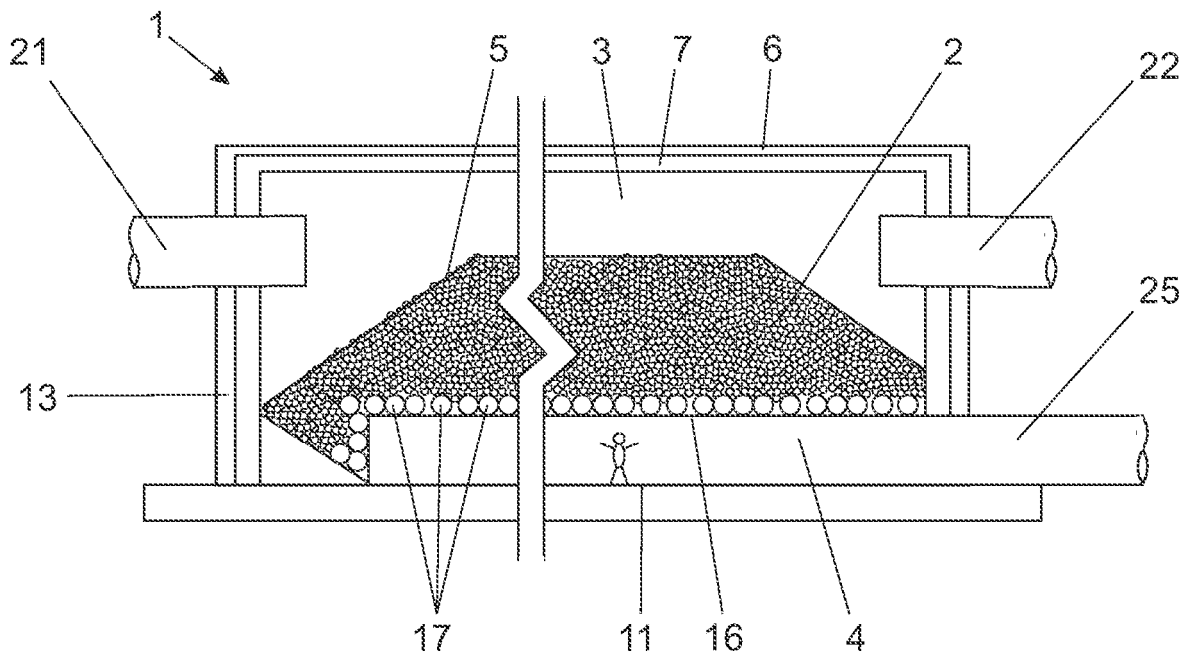
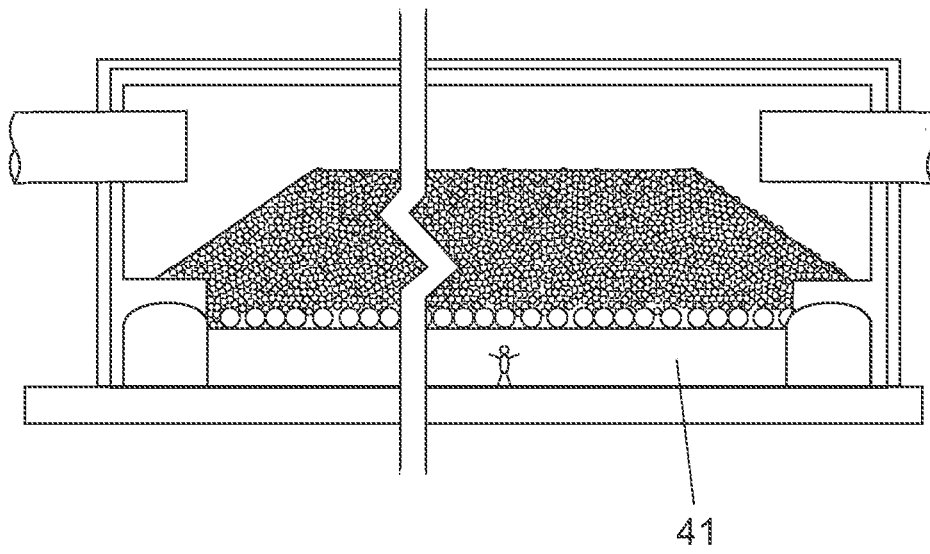
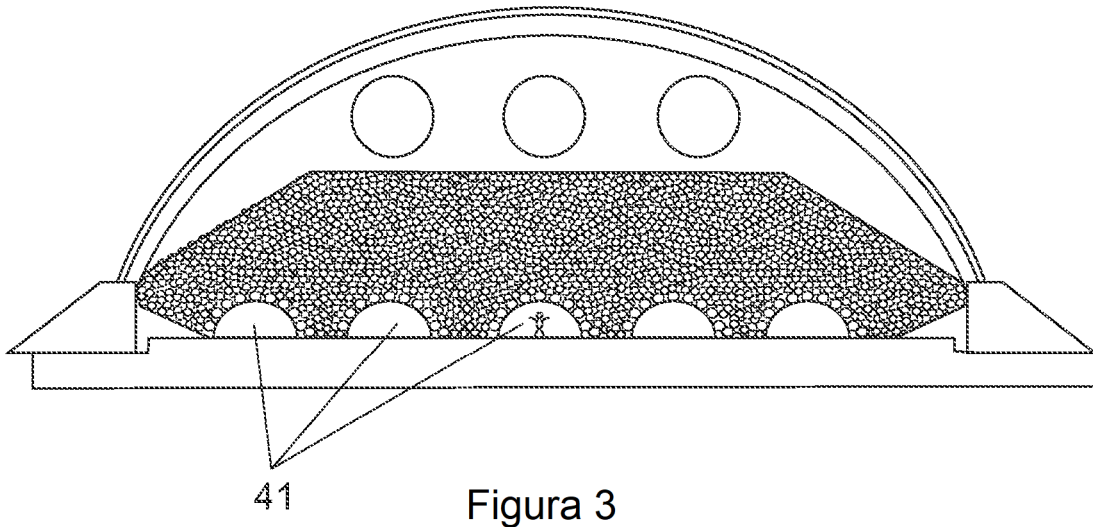


Figura 2



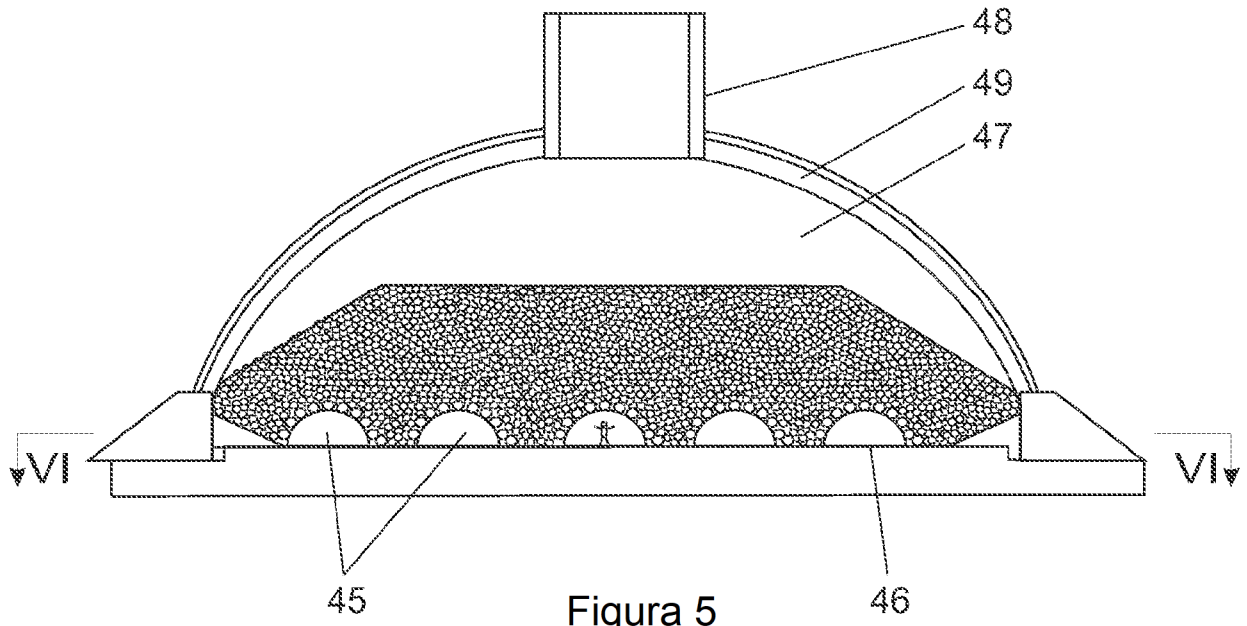


Figura 5

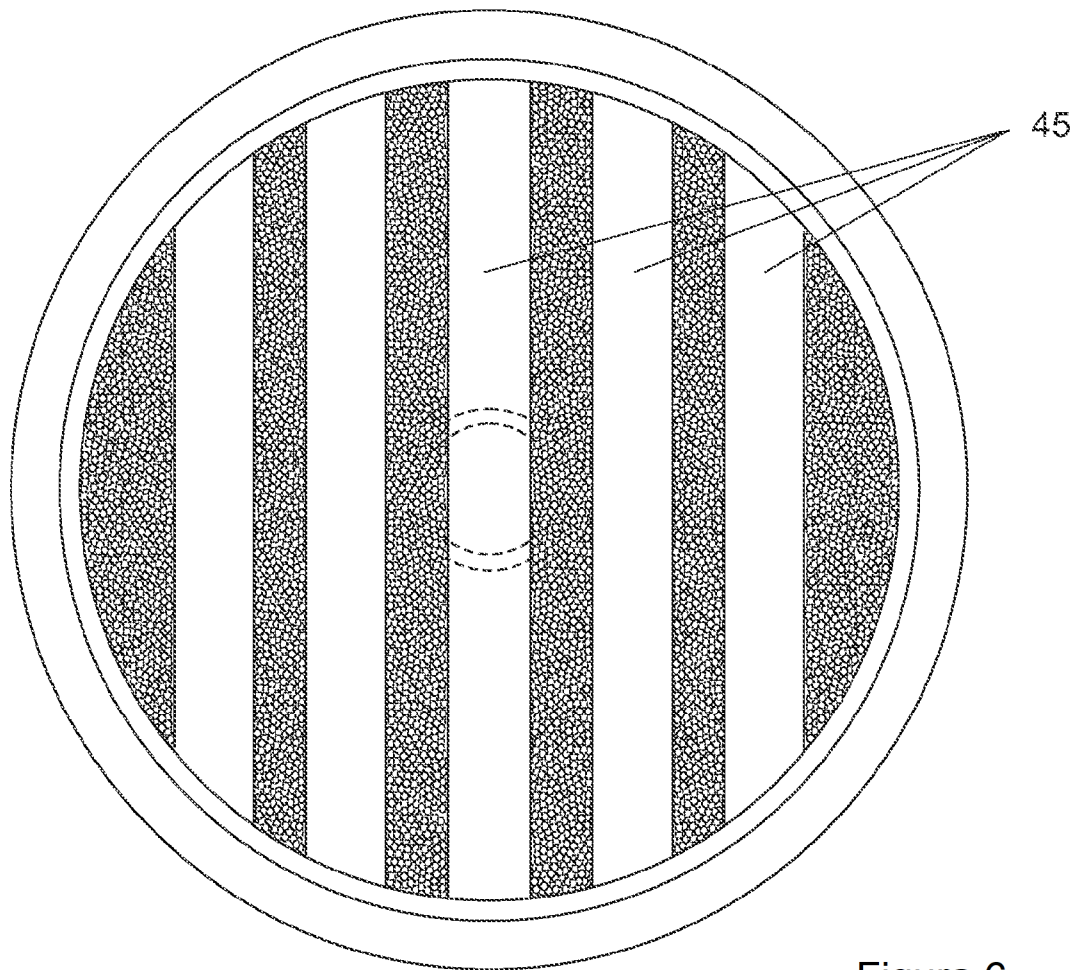


Figura 6

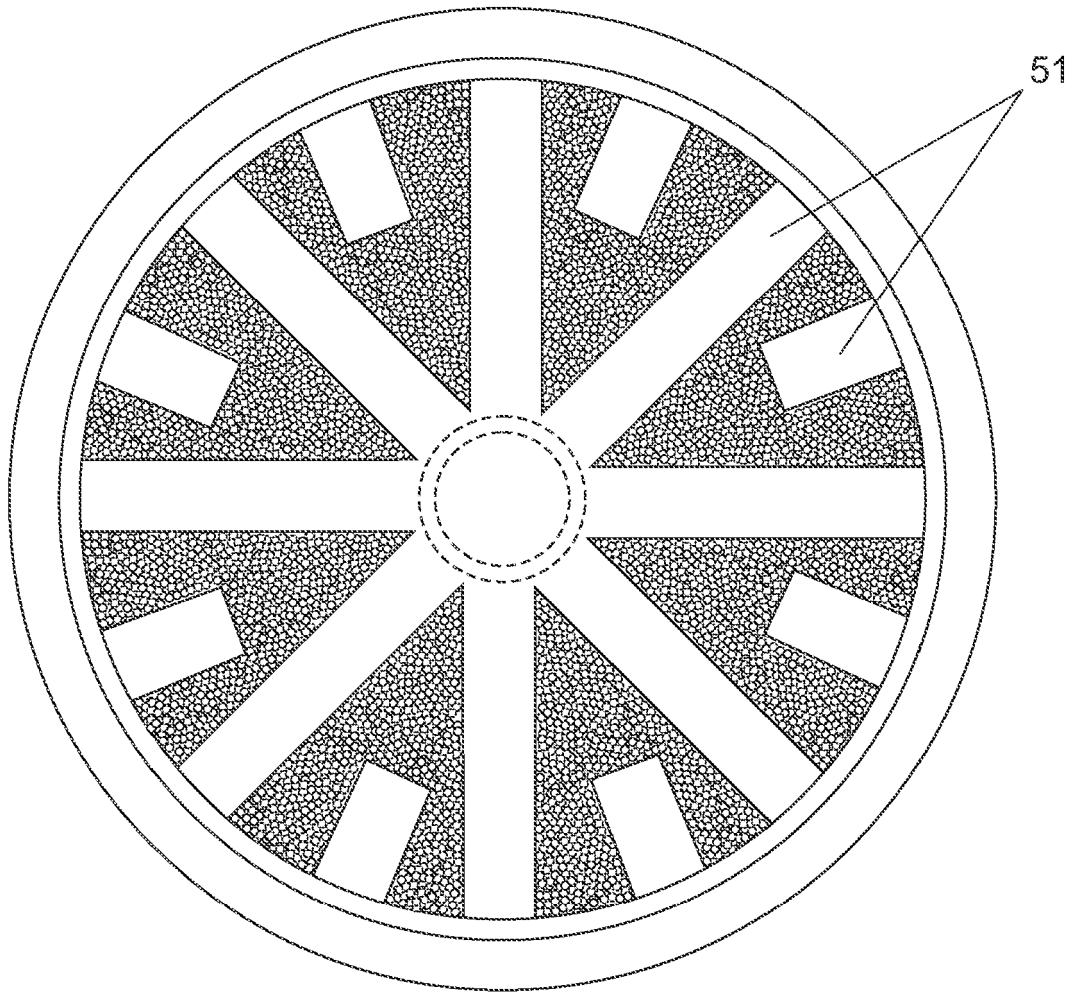


Figura 7

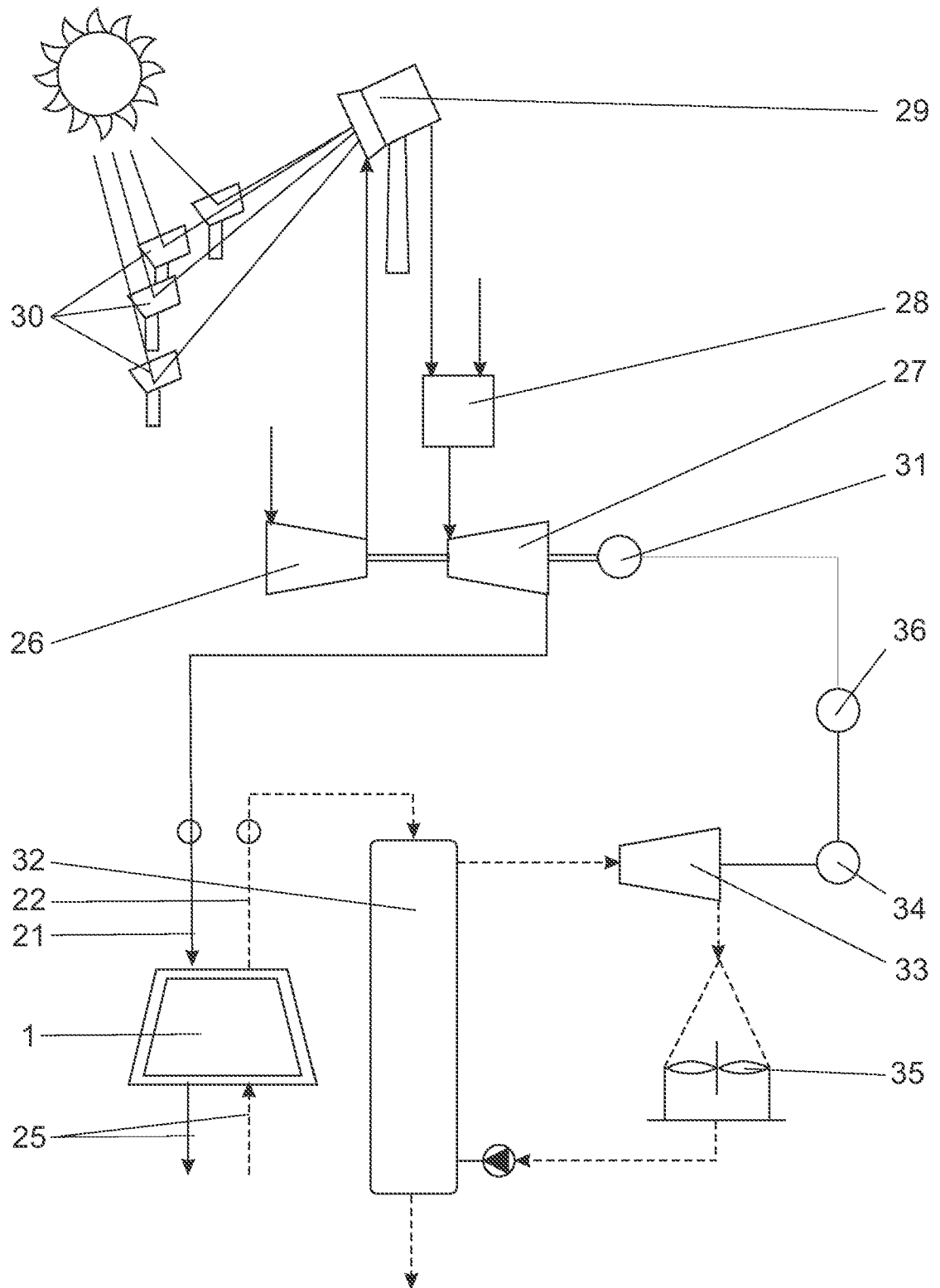


Figura 8