

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 614 783**

51 Int. Cl.:

B23P 15/26 (2006.01)

F28D 20/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **06.05.2013 PCT/EP2013/059404**

87 Fecha y número de publicación internacional: **14.11.2013 WO13167539**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **06.05.2013 E 13721693 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **09.11.2016 EP 2867603**

54 Título: **Procedimiento de llenado de un depósito de almacenamiento de calor de elementos sólidos**

30 Prioridad:

09.05.2012 FR 1254226

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

01.06.2017

73 Titular/es:

**COMMISSARIAT À L'ÉNERGIE ATOMIQUE ET
AUX ÉNERGIES ALTERNATIVES (100.0%)
25, Rue Leblanc, Bâtiment "Le Ponant D"
75015 Paris, FR**

72 Inventor/es:

**COUTURIER, RAPHAËL;
BRUCH, ARNAUD y
FOURMIGUE, JEAN-FRANÇOIS**

74 Agente/Representante:

LINAGE GONZÁLEZ, Rafael

ES 2 614 783 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

Procedimiento de llenado de un depósito de almacenamiento de calor de elementos sólidos

5 Campo técnico y técnica anterior

La presente invención se refiere a un procedimiento de llenado de un depósito de almacenamiento de calor de elementos sólidos según el preámbulo de la reivindicación 1. El documento US 4.054.246 divulga dicho procedimiento.

10 Numerosos campos y numerosas aplicaciones industriales emplean el almacenamiento de calor. El almacenamiento de calor permite la valoración del calor procedente de procesos industriales, la recuperación de energía excedentaria o el desacoplamiento entre el momento de producción de energía térmica y su uso

15 A modo de ejemplo, en el campo de la energía termosolar por concentración (CSP por "Concentrated Solar Power" en terminología anglosajona), el excedente de calor producido en las horas de alta insolación puede almacenarse así para explotarse al final del día.

20 El almacenamiento de calor puede realizarse típicamente en forma de energía sensible (haciendo variar el nivel de temperatura de un material de almacenamiento sólido o líquido), en forma de energía latente (haciendo cambiar de fase un material de almacenamiento) o finalmente en forma de energía química (usando reacciones químicas endotérmicas y exotérmicas).

25 En el caso de almacenamiento de calor por calor sensible, se almacena el calor por elevación de la temperatura de un material de almacenamiento que puede ser líquido, sólido o una combinación de los dos.

30 Los procedimientos industriales que implican un uso o una conversión de energía térmica mediante un ciclo termodinámico, por ejemplo mediante el uso de una turbina de vapor, hacen intervenir globalmente dos niveles de temperatura, que son las condiciones en los límites del ciclo. Se busca el mantenimiento lo más constante posible de estos dos niveles de temperatura con el fin de obtener un funcionamiento optimizado del ciclo. Efectivamente, a modo de ejemplo, las turbinas de vapor que aseguran la conversión de energía térmica en energía eléctrica tienen un rendimiento más elevado cuando la temperatura de entrada en la turbina se mantiene constante a un valor predefinido. En consecuencia, el almacenamiento asociado a dichos sistemas debe respetar por tanto estas características y permitir por ejemplo la liberación del calor a un nivel de temperatura constante.

35 Es un ejemplo de este tipo de funcionamiento el campo de la energía termosolar de concentración, en que un sistema de almacenamiento típico está constituido por dos depósitos llenos de fluido de almacenamiento a dos niveles de temperatura. Uno de los depósitos se almacena a una temperatura baja constante y el segundo depósito se almacena a una temperatura alta constante. La temperatura de salida del depósito caliente es por tanto constante a lo largo de la liberación.

40 Existen igualmente sistemas que solo constan de un único depósito que contiene a la vez fluido caliente y fluido frío. Existe entonces una estratificación térmica dentro del depósito, el fluido caliente situado en la parte superior y el fluido frío situado en la parte inferior están entonces separados por una región de transición llamada "termoclina".

45 El uso de un depósito único permite reducir el número de componentes, tales como bombas, válvulas, etc. y simplificar el control de mandos.

50 En un almacenamiento de tipo termoclina, el material de almacenamiento puede ser un líquido caloportador o, ventajosamente, una mezcla de un fluido caloportador y un material sólido económico. El uso de dicho material sólido permite además mejorar la segregación del fluido caliente y del fluido frío al disminuir los efectos del remezclado. En este último caso, se habla entonces de "termoclina dual" (o "termoclina de medios mixtos").

55 Este depósito de "termoclina dual" presenta la ventaja de reducir la cantidad de líquido necesaria, sabiendo que los materiales sólidos de tipo rocoso son económicos, se reduce el coste total.

60 En un depósito de termoclina, con el fin de tener en cuenta las diferencias de densidad y evitar los movimientos de convección naturales, se introduce el fluido caloportador por la parte superior del depósito en las fases de almacenamiento y por la parte inferior del depósito en las fases de liberación. El almacenamiento se caracteriza por tanto por una zona caliente por arriba del tanque, una zona fría por abajo y una zona de transición entre las dos zonas llamada termoclina. El principio de este tipo de almacenamiento de calor es crear un "pistón térmico", es decir, el avance de un frente térmico lo más estrecho posible y transversalmente uniforme. Esto permite mantener temperaturas constantes en las fases de carga y de descarga.

65 En las fases de carga, se retira el líquido frío del depósito por abajo, se calienta, por ejemplo atravesando un intercambiador térmico de un colector solar, y a continuación se devuelve al depósito por arriba. En una fase de

descarga, se retira el líquido caliente del depósito por arriba y se envía por ejemplo hacia el evaporador de un ciclo termodinámico que integra una turbina, en la que se enfría y se devuelve a continuación al depósito por abajo. En las fases de carga y de descarga, el pistón térmico se desplaza hacia abajo y hacia arriba, respectivamente.

5 El almacenamiento de tipo "termoclina dual" basado en un mezclado de líquido caloportador fluido y de matriz sólida pone en juego velocidades de fluidos muy bajas del orden de varios mm/s con el fin de asegurar la transferencia de calor entre el fluido y la carga estática y limitar las inhomogeneidades.

10 En el funcionamiento real, dicho sistema de almacenamiento presenta inhomogeneidades y el pistón térmico no es perfecto. Estas inhomogeneidades pueden proceder por ejemplo de inhomogeneidades en el reparto de la carga estática, formada por ejemplo por una mezcla de rocas y arena, que pueden estar ligadas al llenado inicial del depósito de almacenamiento en el que puede ocurrir, por ejemplo, una segregación entre los trozos de roca y los granos de arena, o en el ciclamiento térmico de la matriz sólida que "vive" a lo largo de las dilataciones y contracciones térmicas del depósito. "Roca" y "arena" son dos términos para definir medios granulares de diámetro
15 alto y bajo, respectivamente, constituidos por partículas minerales.

Estas inhomogeneidades conducen a la aparición de rutas preferenciales, a efectos de chimenea que degradan el funcionamiento en pistón térmico y limitan el buen funcionamiento de la termoclina. En la fase de carga, puede llegarse también a "lenguas" calientes que avanzan por el fluido frío. Aparece entonces una alta disparidad de
20 temperatura en un plano transversal del depósito.

Este comportamiento degradado del depósito es poco compatible con los órganos de conversión térmica/eléctrica usados en las centrales solares de concentración cuyo correcto funcionamiento requiere una temperatura de entrada lo más constante posible. Una temperatura de entrada variable conduce a una disminución del rendimiento de
25 conversión hasta una salida del intervalo de funcionamiento admisible.

El proyecto estadounidense Solar One de central solar conducido en los años 1980 está asociado a un depósito de almacenamiento de calor en el que el material sólido está formado por un lecho de roca que comprende una mezcla compuesta por 7/11 de roca y 4/11 de arena. Este lecho de roca se realiza llenando el depósito después de un premezclado de roca y arena y amontonando después esta premezcla. Después del llenado, está presente una porosidad del 23 %. Parece que esta mezcla previa al llenado no es satisfactoria. Efectivamente, en el llenado, la puesta en movimiento de partículas de tamaños diferentes genera movimientos preferenciales de las partículas y, en el caso de un premezclado en tambor, la segregación de las partículas finas hacia el centro. Esto se ilustra por
30 ejemplo en la figura 1.5 de la tesis de doctorado titulada "Flujo de partículas en un medio poroso" de F Lominé defendida el 19 de octubre de 2007 en la Universidad de Rennes 1.

En consecuencia, previamente al llenado la mezcla no es ya homogénea.

40 Además, en el llenado, aparece igualmente una segregación en el vertido de la premezcla. Las partículas de tamaño más grande se encuentran preferencialmente en el borde del montón que se forma. Efectivamente, cuanto más grandes son los granos, más lisa parece la superficie del montón. La disipación de energía es por tanto más lenta y recorren una distancia mayor antes de detenerse. Esto se ilustra por la Figura 1.7 de la tesis de doctorado mencionada anteriormente. En este tipo de reparto, el fluido se encuentra en los bordes del depósito de las zonas muy pobres en arena, y a la inversa, en el centro del depósito el lecho de roca está formado casi exclusivamente por
45 arena fina. En el caso de un depósito de calor de tipo "termoclina dual", esto conduce a una circulación preferencial del aceite por los bordes del depósito, constituyendo el centro una zona "muerta" respecto al almacenamiento térmico.

Finalmente, existe un riesgo de segregación suplementaria en el amontonamiento. Efectivamente, dicho
50 amontonamiento se hace generalmente mediante la puesta en vibración del lecho de roca, lo que permite ciertamente aumentar débilmente la compactación pero puede provocar una segregación entre las partículas grandes y las partículas pequeñas siguiendo un fenómeno bien conocido. Las partículas grandes suben a la superficie de un lecho de granos sometido a vibración. Efectivamente, las partículas pequeñas se filtran en los vacíos dejados bajo los granos grandes.

55 En consecuencia, el procedimiento de llenado del depósito del proyecto Solar One no es satisfactorio para un funcionamiento óptimo del depósito de almacenamiento de calor.

Exposición de la invención

60 Es en consecuencia un objeto de la presente invención ofrecer un procedimiento de llenado de un depósito de almacenamiento de calor de tipo "termoclina dual", con elementos sólidos de almacenamiento térmico que comprenden al menos dos tipos de elementos sólidos de tamaños diferentes, que permita obtener un reparto homogéneo de los elementos en el depósito, asegurando así un funcionamiento correcto del depósito.

65 El objeto de la presente invención se consigue mediante un procedimiento de llenado de un depósito de

almacenamiento de calor con elementos sólidos que presentan al menos un primer tamaño y un segundo tamaño, siendo el primer tamaño superior al segundo tamaño, comprendiendo el procedimiento una primera etapa de colocación de los elementos sólidos del primer tamaño en el depósito, una segunda etapa de nivelación de la capa de elementos sólidos del primer tamaño así formada de modo que se obtenga una capa de grosor sustancialmente constante, una tercera etapa de llenado con elementos sólidos del segundo tamaño de los espacios entre los elementos sólidos del primer tamaño hasta que esto llega a la capa de elementos sólidos del primer tamaño, repitiéndose eventualmente la primera, segunda y tercera etapas hasta alcanzar la altura de elementos sólidos deseada.

5
10 Cada granulometría corresponde a un diámetro d_{50} de elementos sólidos, definido como el valor para el que un 50 % de los elementos sólidos tienen un diámetro inferior a d_{50} . El diámetro d_{50} se designa igualmente la mediana.

En otras palabras, se vierten los elementos sólidos sucesivamente unos sobre otros empezando por aquellos que presentan una primera granulometría cuya mediana es la mayor y en orden de medianas decrecientes.

15 De manera muy ventajosa, se elige una relación comprendida entre 8 y 20 entre la mediana de los elementos sólidos del primer tamaño y la mediana de los elementos sólidos de la segunda granulometría. Dicha relación permite obtener una porosidad relativamente baja del lecho de elementos sólidos. Preferiblemente, esta relación es del orden de 10.

20 Preferiblemente, el o los materiales de los elementos sólidos se eligen de modo que presenten una alta densidad y una capacidad calorífica elevada para ofrecer una buena capacidad de almacenamiento térmico.

25 Preferiblemente también, el material o materiales de los elementos sólidos presentan una baja porosidad, lo que reduce la cantidad de gas para desgasificar en los primeros calentamientos del depósito.

30 El procedimiento de llenado según la invención está particularmente adaptado al llenado de depósitos de almacenamiento en el que la carga sólida se reparte en varias etapas, mejorando más el funcionamiento en pistón térmico del depósito y la provisión de un líquido a temperatura constante.

35 La presente invención tiene entonces como objetivo un procedimiento de llenado de un depósito de almacenamiento térmico con elementos sólidos que presentan al menos una primera granulometría y una segunda granulometría, siendo la primera granulometría superior a la segunda granulometría, y comprendiendo dicho procedimiento las etapas de:

a) vertido de una primera cantidad de elementos sólidos de la primera granulometría en el depósito,

b) nivelación de dicha primera cantidad de elementos sólidos de la primera granulometría, de modo que se forme una capa de altura sustancialmente constante,

40 c) vertido de una segunda cantidad dada de elementos sólidos de la segunda granulometría sobre la capa de elementos sólidos de la primera granulometría, de modo que los elementos sólidos de la segunda granulometría fluyen por gravedad entre los elementos sólidos de la primera granulometría y de modo que los elementos de la segunda granulometría llegan a la capa de elementos sólidos de la primera granulometría y de modo que se forma una capa intermedia.

El procedimiento de llenado puede comprender una etapa d) de nivelación de la segunda cantidad de elementos sólidos de la segunda granulometría.

50 Las etapas a) a c) o a) a d) pueden repetirse de modo que se forme un apilamiento de capas intermedias hasta alcanzar una altura dada de elementos sólidos en el depósito.

Ventajosamente, la relación entre la mediana de la primera granulometría y la mediana de la segunda granulometría está comprendida entre 8 y 20, y es preferiblemente del orden de 10.

55 En la etapa c), los elementos sólidos de la segunda granulometría se reparten por ejemplo sobre toda la capa de elementos sólidos de la primera granulometría.

La capa intermedia puede tener una altura del orden de 15 cm.

60 Preferiblemente, previamente a la etapa a), se lavan y secan los elementos sólidos de la primera granulometría.

Preferiblemente también, previamente a la etapa c), se lavan y secan los elementos sólidos de la segunda granulometría.

65 Ventajosamente, la primera cantidad corresponde a aproximadamente un 80 % en masa de la capa intermedia y la

segunda cantidad corresponde a aproximadamente un 20 % en masa de la capa intermedia.

La presente invención tiene igualmente como objetivo un procedimiento de fabricación de un depósito de almacenamiento térmico que comprende las etapas de:

- 5
- fabricación de un conjunto formado por un cuerpo cilíndrico y un fondo inferior,
 - llenado según el procedimiento según la presente invención,
- 10
- colocación de un fondo superior para cerrar de manera estanca el depósito,
 - llenado con el fluido caloportador.

15 En un modo de realización, el depósito comprende al menos dos compartimentos superpuestos y cada compartimento comprende un lecho de elementos sólidos, llenándose cada compartimento según el procedimiento según la presente invención.

20 Los elementos sólidos de la primera granulometría son, por ejemplo, guijarros aluviales y los elementos sólidos de la segunda granulometría son por ejemplo arena basada en sílice.

El fluido caloportador es, por ejemplo aceite térmico, por ejemplo Therminol 66®.

Breve descripción de los dibujos

25 La presente invención se comprenderá mejor con la ayuda de la descripción siguiente y los dibujos adjuntos, en los que:

- las figuras 1A a 1C son representaciones esquemáticas de diferentes etapas del procedimiento de llenado según la invención,
- 30
- la figura 2 es una vista en corte longitudinal de un ejemplo de realización de un depósito de almacenamiento de calor al que se aplica el procedimiento de llenado según la invención,
- la figura 3A es una vista en corte longitudinal de otro ejemplo de realización de un depósito de almacenamiento de calor al que se aplica el procedimiento de llenado según la invención,
- 35
- las figuras 3B y 3C son vistas desde arriba de un ejemplo de realización de soportes destinados a delimitar los compartimentos en el depósito de la figura 3A,
- 40
- la figura 3D es una vista en corte siguiendo el plano AA de la figura 3B,
 - la figura 4A es una vista en corte longitudinal de una capa de elementos sólidos obtenidos mediante un procedimiento de llenado del estado de la técnica,
- 45
- la figura 4B es una representación gráfica de la variación de temperatura y de la velocidad local del aceite en la capa de la figura 4A en función de la distancia con respecto al eje del depósito,
 - la figura 5 es una vista desde arriba de un ejemplo de realización de un distribuidor que puede emplearse en el depósito de la figura 2 o de la figura 3A,
- 50
- la figura 6 es una representación gráfica del porcentaje en masa acumulado en función del diámetro en mm de partículas de un ejemplo de elementos sólidos de la segunda granulometría que puede usarse en el llenado según la presente invención.

55 Exposición detallada de modos de realización particulares

En la figura 2, se puede ver una vista en corte longitudinal de un ejemplo de depósito de almacenamiento de calor al que se aplica el procedimiento de llenado según la invención.

60 El depósito comprende una cubierta cilíndrica 2 de eje longitudinal X. En el ejemplo representado, el depósito presenta una sección circular.

El eje longitudinal X está destinado a orientarse de forma sustancialmente vertical.

65 La cubierta 2 está formada por un cuerpo cilíndrico 4 y dos fondos abombados 6, 8 que cierran los extremos longitudinales superior e inferior respectivamente del cuerpo cilíndrico 4.

ES 2 614 783 T3

- El depósito comprende medios de admisión y recogida 10 de líquido caliente situados en el fondo abombado superior 6 del depósito y medios de admisión y recogida 12 de líquido frío situados en el fondo abombado inferior 8 en la parte baja del depósito.
- 5 El depósito comprende un lecho de elementos sólidos de almacenamiento térmico 14 dispuestos entre los medios de admisión y recogida 10 de líquido caliente y los medios de admisión y recogida 12 de líquido frío. En la figura 2, el lecho 14 se representa parcialmente.
- 10 El lecho de elementos sólidos 14 reposa sobre una rejilla o placa calada 16 dispuesta por encima de los medios de admisión y recogida 12 de líquido frío. El líquido puede atravesar entonces la rejilla 16 y los medios de admisión y recogida 12 no soportan el lecho 14.
- 15 El volumen útil del depósito no comprende una zona de vacío, aunque el volumen no ocupado por los elementos sólidos se llena con fluido caloportador.
- En el ejemplo representado, los elementos sólidos de almacenamiento térmico comprenden los elementos sólidos 14.1 de una primera granulometría y los elementos sólidos 14.2 de una segunda granulometría.
- 20 Los elementos sólidos se considera que tienen una forma cercana a la esfera. Cada granulometría corresponde a un diámetro d_{50} tal como se define anteriormente y se designa mediana, siendo superior la mediana de la primera granulometría a la mediana de la segunda granulometría.
- 25 Por ejemplo, los elementos sólidos de la primera granulometría 14.1 están formados por bloques de roca y los elementos sólidos de la segunda granulometría 14.2 están formados por arena.
- Preferiblemente, la relación entre las medianas de los elementos de la primera granulometría 14.1 y los elementos de la segunda granulometría está comprendida entre 8 y 20, y preferiblemente es del orden de 10. Dichas relaciones permiten tener una porosidad de la mezcla residual reducida, por ejemplo del orden del 30 %.
- 30 El procedimiento de llenado comprende las etapas siguientes.
- En la etapa a), se vierte una primera cantidad de elementos sólidos de la primera granulometría 14.1 en el interior del depósito sobre la rejilla 16. Los elementos sólidos de la primera granulometría 14.1 forman entonces un montón en el centro de la rejilla 16. Esta etapa se representa en la figura 1A. Es posible repartir los elementos 14.1 sobre la rejilla 14 en el vertido de modo que se limite la formación de un montón y se relacione con una capa de grosor más homogéneo.
- 35 En la etapa b) siguiente, se nivela el montón de modo que se forme una capa 18 de altura sustancialmente constante sobre toda la sección del depósito. La nivelación puede hacerse manualmente por ejemplo mediante un rastrillo o mediante un dispositivo motorizado. Esta etapa se representa en la figura 1B.
- 40 En la etapa c) siguiente, se vierte sobre la capa 18 una cantidad dada de elementos sólidos de la segunda granulometría 14.2. Los elementos sólidos 14.2 fluyen naturalmente por gravedad entre los elementos sólidos 14.1 y colman los espacios entre los elementos sólidos 14.1 de la primera granulometría.
- 45 La cantidad dada de elementos sólidos de la segunda granulometría 14.2 se elige de modo que los elementos sólidos de la segunda granulometría 14.2 lleguen a la capa 18. Se forma una capa 20 compuesta por elementos sólidos de la primera granulometría 14.1 y de la segunda granulometría 14.2. Esta etapa se representa en la figura 1C.
- 50 Preferiblemente, la masa de elementos sólidos de la segunda granulometría 14.2 representa aproximadamente un 20 % del lecho 14.
- 55 La adición de elementos sólidos de la segunda granulometría 14.2 puede hacerse manualmente o a través de una tolva.
- Preferiblemente, se vierten los elementos sólidos de la segunda granulometría 14.2 de modo que se repartan sobre toda la superficie de elementos sólidos de la primera granulometría 14.1.
- 60 El grosor de la capa 18 se determina de modo que los elementos sólidos de la segunda granulometría 14.2 penetren fácilmente entre los elementos sólidos de la primera granulometría 14.1.
- 65 Preferiblemente, la capa de elementos sólidos 18 de la primera granulometría 14.1 es del orden de 15 cm.
- En la etapa d) siguiente, se efectúa una nivelación de los elementos sólidos de la segunda granulometría 14.2 de

modo que se obtenga una capa 20 que tiene una altura sustancialmente constante.

La etapa d) puede no tener lugar si, en el vertido de elementos sólidos de la segunda granulometría 14.2, la capa 20 presenta directamente una altura suficientemente constante.

5 Las etapas a) a d) se repiten a continuación hasta que se realiza el lecho 14.

En el llenado, en particular en la etapa c), no hay ni amontonamiento ni acción mecánica, la penetración de elementos sólidos de la segunda granulometría entre los intersticios formados por elementos de la primera granulometría y el llenado de los intersticios por los elementos sólidos de la segunda granulometría se obtienen únicamente por efecto de la granulometría.

10

Previamente al llenado, se lavan ventajosamente los elementos sólidos 14.1 de almacenamiento térmico con el fin de limitar la presencia de polvos finos que podrían si no circular con el fluido caloportador.

15 Preferencialmente, se secan los elementos sólidos. Este secado permite limitar la cantidad de agua introducida en el depósito con los elementos sólidos, agua que se desgasifica en el calentamiento del almacenamiento. Además, el secado de los elementos 14.2 de pequeño diámetro facilita su flujo entre los elementos 14.1.

20 Al final del llenado, se coloca el fondo superior 6 del tanque y se cierra con una junta mecánica. Se introduce a continuación el aceite en el depósito mediante los medios de recogida y admisión inferiores 12. El aceite sube por el lecho y expulsa el aire contenido en los espacios libres dejados por los elementos sólidos.

25 El procedimiento de llenado según la invención mediante capas sucesivas asegura una homogeneidad muy buena de la mezcla a la escala del depósito. Efectivamente, no hay una diferencia sustancial entre el núcleo del lecho 14 y su periferia. A escala local, todas las zonas presentan sustancialmente la misma proporción de elementos sólidos de la segunda granulometría 14.2.

30 En la figura 4A, se puede ver representado esquemáticamente en corte longitudinal un esquema teórico de un elemento de volumen de un lecho 14' formado por dos zonas Z1 y Z2, que presentan proporciones de elementos sólidos de la segunda granulometría 14.2 diferentes. El eje de abscisas representa la distancia r en el plano transversal a lo largo de un radio. Este elemento de volumen podría situarse en diferentes zonas del depósito.

35 Este lecho se obtiene mediante el vertido de una mezcla de elementos sólidos de la primera granulometría 14.1 y elementos sólidos de la segunda granulometría 14.2. Naturalmente, aparece una segregación entre los elementos 14.1 y 14.2.

40 En la figura 4B, se representan la variación de temperatura en °C y de velocidad del frente térmico en m/s dentro del elemento de volumen de 14' de la figura 4A.

45 Debido a la baja proporción de elementos sólidos de la segunda granulometría 14.2 en la zona Z1, la velocidad de flujo es alta con relación a la de la zona Z2. Da como resultado que la temperatura en la zona Z1 varía, mientras que en la zona Z2 es sustancialmente constante. La zona Z1 es por tanto una zona de flujo preferencial, lo que conduce a una desestabilización transversal del frente térmico. Cuando la velocidad de flujo es demasiado alta, no se usa de manera suficiente la capacidad de almacenamiento térmico de los elementos sólidos de la primera granulometría.

Gracias al procedimiento de llenado según la invención, en el lecho 14 con la distribución de zona Z2, la temperatura que se suministra por el depósito es entonces sustancialmente constante.

50 El lecho puede estar formado por elementos sólidos que presentan más de dos granulometrías diferentes, por ejemplo tres. Se observará que la granulometría mínima se elige de modo que los elementos sólidos que presentan la granulometría mínima no sean arrastrados por el caloportador, porque podrían tapar los medios de admisión y recogida 10, 12.

55 En el caso de emplear elementos sólidos de tres granulometrías diferentes para formar el lecho, el procedimiento comprende al menos una etapa e) después de la etapa d) en la que se vierten los elementos sólidos de la tercera granulometría sobre la capa 20 y a continuación se nivelan.

60 Preferencialmente, los elementos sólidos, y más particularmente los elementos sólidos de la primera granulometría 14.1 que presentan un gran diámetro, se eligen de modo que tengan una baja porosidad. Así, la cantidad del gas o gases que no pueden interaccionar con el fluido caloportador y que se evacúan con el llenado del depósito con el fluido caloportador, es reducida. Puede tratarse del agua contenida en los elementos sólidos, de aire o de cualquier otra especie química.

65 Preferiblemente, el material o materiales de los elementos sólidos se eligen de modo que presenten una alta densidad y una capacidad calorífica elevada para ofrecer una buena capacidad de almacenamiento térmico.

Preferiblemente también, el material o materiales de los elementos sólidos presentan una baja porosidad, lo que reduce la cantidad de gas para desgasificar.

5 El material o materiales de los elementos sólidos se eligen de modo que no generen interacciones con el fluido caloportador: por ejemplo, para un almacenamiento en aceite, convienen rocas aluviales ricas en sílice.

En la figura 3A, se puede ver otro ejemplo de realización de un depósito para el que está particularmente adaptado el procedimiento de llenado según la presente invención.

10 El interior del depósito se divide en varios compartimentos C1, C2, C3, que se superponen a lo largo del eje longitudinal X. Cada compartimento C1, C2, C3 comprende un fondo G1, G2, G3 que forma el soporte que asegura la retención de los elementos de almacenamiento térmicos sólidos, permitiendo la comunicación fluida entre los compartimentos y un lecho TH1, TH2, TH3 de elementos de almacenamiento térmicos sólidos. Solo el lecho TH1 está representado por elementos sólidos.

15 Además, una capa de líquido caloportador L2, L3 recubre los lechos TH2, TH3 de elementos de almacenamiento térmicos sólidos.

20 La zona situada por encima del lecho TH1 y delimitada por el fondo abombado 6 está llena de líquido. Asimismo, la zona situada bajo el lecho TH3 y delimitada por el fondo abombado inferior 8 está llena de líquido.

Los soportes están por tanto adaptados para soportar mecánicamente los lechos de almacenamiento térmico, para retener los elementos de baja granulometría, tales como arena, y para dejar pasar el líquido caloportador.

25 En las figuras 3B a 3D, se pueden ver los detalles de un soporte F1 según un ejemplo de realización.

Ventajosamente, el soporte G1 está formado por dos semisoportes que facilitan su montaje en el cuerpo cilíndrico 4. Puede emplearse igualmente un soporte de una sola pieza.

30 En las figuras 3B y 3C, se puede ver una estructura portadora 22 en forma de semidisco, y un enrejado 24 en forma de semidisco recubierto con una rejilla 25 que reposa sobre la estructura portadora 22.

35 La estructura portadora 22 está formada por barras portadoras paralelas 26 soldadas entre ellas por travesaños 28 y realizando una estructura en forma de semicírculo.

En la figura 3D, se puede ver una vista en corte según el plano A-A de la figura 3B del enrejado 24 y de la rejilla 22.

40 La rejilla 22 está formada por ejemplo por una tela metálica cuyo tamaño de malla es tal que asegura la retención de los elementos sólidos de menor diámetro.

Los soportes G1, G2, G3 suspendidos en el cuerpo cilíndrico están soportados por ejemplo sobre tacos fijados en la superficie interna del cuerpo cilíndrico.

45 Los medios de admisión y recogida 10, 12 comprenden preferiblemente un orificio para recoger el fluido caliente y frío respectivamente y de medios de distribución para alimentar el depósito con fluido caliente y frío respectivamente.

En la figura 5, se puede ver un ejemplo de realización ventajosa de medios de distribución de líquido caliente en el depósito de la figura 3A vistos desde arriba.

50 Los medios de distribución 30 comprenden un conducto de alimentación 32 unido a la alimentación de líquido exterior y conductos de distribución 34 conectados al conducto de alimentación y que se extienden transversalmente con relación al mismo. En el ejemplo representado, los conductos de distribución 34 son perpendiculares al conducto de alimentación 32. Cada conducto está provisto de una pluralidad de orificios de distribución que aseguran una distribución del líquido a lo largo de su eje.

55 El conducto principal se extiende ventajosamente a lo largo del diámetro del cuerpo cilíndrico. Ventajosamente también, los conductos de distribución presentan longitudes diferentes en función de su posición a lo largo del conducto principal, de modo que los medios de distribución cubran de manera sustancialmente homogénea toda la sección transversal del cuerpo cilíndrico.

60 Pueden concebirse otras formas de medios de distribución, asegurando preferiblemente estas formas un reparto homogéneo de los líquidos que alimentan el depósito.

65 Cada compartimento se llena siguiendo las etapas a) a d) del procedimiento según la presente invención. La rejilla G3 se coloca previamente en el fondo del depósito y se llena el compartimento C3 según las etapas a) a d), a continuación se coloca el soporte G2 en el cuerpo cilíndrico, se llena el compartimento C2 según las etapas a) a d),

ES 2 614 783 T3

se coloca el soporte G1 y se llena el compartimento según las etapas a) a d).

Por ejemplo, el depósito de la figura 3A presenta un diámetro de 2500 mm, tres compartimentos cuya altura de cada lecho es de 1900 mm, un grosor de capa de líquido de 100 mm y una temperatura de funcionamiento comprendida entre 150 y 300 °C.

Para asegurar la resistencia mecánica, se busca tener una relación de altura de lecho a diámetro de lecho inferior a 1.

La segmentación del lecho de elementos sólidos permite alcanzar, para cada compartimento, una relación de altura del lecho de almacenamiento térmico a diámetro del cuerpo cilíndrico inferior a 1, lo que permite reducir el efecto de expansión térmica progresiva y por tanto asegurar una buena resistencia mecánica. Y simultáneamente, la segmentación permite tener una altura total de lecho de elementos sólidos grande y por tanto una gran relación de altura total a diámetro. Se obtienen por tanto altas propiedades de almacenamiento en duración y en volumen de zona isotérmica.

Además, esta estructura de depósito asegura que, en caso de inhomogeneidades transversales de temperatura, aparezcan gradientes de temperatura y por tanto gradientes de densidad de líquido en las capas líquidas, lo que conduce a la aparición de movimientos de convección natural que tienden a reducir este gradiente. Así, al combinar la estructura del depósito de la figura 3A y el procedimiento de llenado según la invención, mejora sustancialmente el funcionamiento del depósito.

Se va a describir ahora un ejemplo de puesta en funcionamiento de un depósito de almacenamiento térmico.

Después del llenado con caloportador líquido, por ejemplo aceite, del depósito, se realizan preferiblemente etapas sucesivas de subida de temperatura con el fin de desgasificar mejor el lecho de elementos sólidos.

Se suministra el aceite caliente por los medios de recogida y admisión superiores 10.

En una primera etapa, se calienta a 60 °C la totalidad del lecho con un mantenimiento a esta temperatura de al menos 4 h con el fin de extraer del lecho los residuos de aire contenidos en las porosidades a una temperatura a que el aceite no se oxide.

En una etapa siguiente, se eleva la temperatura a 120-130 °C durante varias horas con el fin de desgasificar el vapor de agua. La temperatura es superior a 100 °C, pues corresponde a la temperatura de saturación del agua bajo presión hidrostática en el fondo del tanque. Durante esta meseta, se evacúa el vapor mediante una purga situada sobre la tapa superior del depósito. Preferiblemente, esta operación se realiza lentamente con el fin de evitar un aumento demasiado alto de la presión en el depósito.

En una etapa siguiente, se aumentan sucesivamente las temperaturas con mantenimiento durante una a varias horas a cada temperatura, pudiéndose tratar de una meseta de 30 °C, hasta la temperatura máxima con el fin de desgasificar los elementos volátiles del aceite. Esta temperatura máxima es de 300 °C para el aceite Therminol 66®.

A modo de ejemplo, los elementos sólidos de la primera granulometría 14.1 son guijarros aluviales constituidos mayoritariamente por silicio de diámetro medio de 2,5 cm. Los guijarros se obtienen por tamizado de rocas de cantera aluvial, por ejemplo mediante un tamiz de malla 20 mm y 30 mm. Los elementos sólidos de la segunda granulometría 14.2 son arena que comprende partículas basadas en silicio (composición típica 87 % de SiO₂, 6 % de Al₂O₃, 3 % de K₂O) de diámetro medio cercano a 2,5 mm. En la figura 6, se representa el porcentaje en masa acumulado en función del diámetro en mm de las partículas.

El lecho 14 comprende un 20 % en masa de arena, lo que permite alcanzar una porosidad del lecho de roca de aproximadamente un 30 %. Los guijarros y la arena tienen una densidad de aproximadamente 2500 kg/m³.

Gracias al procedimiento de llenado según la presente invención, se obtiene una estratificación térmica de buena calidad con una muy buena homogeneidad transversal en temperatura. La proporción útil de depósito de calor aumenta por tanto y se obtiene un funcionamiento mejorado del sistema de almacenamiento que se acerca entonces al funcionamiento en pistón térmico.

Además, debido a este reparto homogéneo de los elementos de diferente granulometría, se reducen en gran medida los riesgos de aparición de cortocircuitos hidráulicos a lo largo de las paredes o de una zona muerta que no participaría en el intercambio térmico en el centro. Se usa entonces la totalidad del depósito para el almacenamiento térmico.

Por otro lado, ya que mejora el funcionamiento en pistón térmico, se favorece el mantenimiento de una temperatura constante a la salida del depósito y por tanto un buen rendimiento y una mejor vida útil del sistema, por ejemplo una turbina, a la que el depósito proporciona calor en la liberación.

Además, gracias al llenado por capas sucesivas, es posible disponer termopares en diferentes puntos de una sección del lecho de almacenamiento y en varias secciones del lecho, lo que permite medir la temperatura del aceite en el núcleo del lecho. Es posible disponer termopares en las rocas perforándolas. Estas medidas de temperatura, especialmente aquellas del núcleo de las rocas, permiten seguir el avance del frente térmico y controlar que la transferencia de calor entre el líquido caloportador y las rocas sea óptima. Si la transferencia es buena, se mide un bajo gradiente térmico entre termopares cercanos en el líquido caloportador y en la roca. Esto permite igualmente adaptar el caudal de fluido caloportador en función del comportamiento observado realmente a diferentes alturas de lecho de elementos sólidos.

Gracias al procedimiento de llenado, se evita igualmente el recurso a la puesta en vibración del depósito, lo que simplifica el llenado de los depósitos y permite el llenado de depósitos de gran tamaño.

El procedimiento de llenado según la invención está especialmente adaptado particularmente a la fabricación de depósitos para el almacenamiento de calor producido por centrales solares de concentración de tipo Fresnel o cilindroparábolicas, pero igualmente centrales solares de torre.

Este procedimiento de llenado está igualmente adaptado a la fabricación de depósitos de almacenamiento térmico que requieran temperaturas controladas y constantes en la descarga del depósito.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de llenado de un depósito de almacenamiento térmico con elementos sólidos (14.1, 14.2) que presentan al menos una primera granulometría y una segunda granulometría, siendo la primera granulometría superior a la segunda granulometría, comprendiendo dicho procedimiento las etapas de:
- 5 a) vertido de una primera cantidad de elementos sólidos de la primera granulometría (14.1) en el depósito,
- 10 b) nivelación de dicha primera cantidad de elementos sólidos de la primera granulometría (14.1), de modo que se forma una capa de altura sustancialmente constante,
- 15 c) vertido de una segunda cantidad dada de elementos sólidos de la segunda granulometría (14.2) sobre la capa de elementos sólidos de la primera granulometría (14.1), de modo que los elementos sólidos de la segunda granulometría (14.2) fluyen por gravedad entre los elementos sólidos de la primera granulometría (14.1) y de modo que los elementos de la segunda granulometría (14.2) llegan a la capa de elementos sólidos de la primera granulometría (14.1) y de modo que se forma una capa intermedia (20);
- 20 caracterizado porque las etapas a) a c) se repiten de modo que se forma un apilamiento de capas intermedias (20) hasta alcanzar una altura dada de elementos sólidos en el depósito.
2. Procedimiento de llenado según la reivindicación 1, que comprende una etapa d) de nivelación de la segunda cantidad de elementos sólidos de la segunda granulometría (14.2), después de cada etapa c).
- 25 3. Procedimiento de llenado según la reivindicación 1 o 2, en el que la relación entre la mediana de la primera granulometría y la mediana de la segunda granulometría está comprendida entre 8 y 20.
4. Procedimiento de llenado según la reivindicación 3, en el que la relación entre la mediana de la primera granulometría y la mediana de la segunda granulometría es del orden de 10.
- 30 5. Procedimiento de llenado según una de las reivindicaciones 1 a 4, en el que en la etapa c) se reparten los elementos sólidos de la segunda granulometría (14.2) sobre toda la capa de elementos sólidos de la primera granulometría.
- 35 6. Procedimiento de llenado según la reivindicación 5, en el que los elementos sólidos de la segunda granulometría (14.2) se vierten de modo que se reparten de manera homogénea sobre toda la altura de la capa de elementos sólidos de la primera granulometría.
- 40 7. Procedimiento de llenado según una de las reivindicaciones 1 a 6, en el que en el llenado no hay ni amontonamiento ni acción mecánica.
8. Procedimiento de llenado según una de las reivindicaciones 1 a 7, en el que la capa intermedia (20) tiene una altura del orden de 15 cm.
- 45 9. Procedimiento de llenado según una de las reivindicaciones 1 a 8, en el que previamente a la etapa a) se lavan y secan los elementos sólidos de la primera granulometría.
10. Procedimiento de llenado según una de las reivindicaciones 1 a 9, en el que previamente a la etapa c) se lavan y secan los elementos sólidos de la segunda granulometría (14.1).
- 50 11. Procedimiento de llenado según una de las reivindicaciones 1 a 10, en el que la primera cantidad corresponde a aproximadamente un 80 % en masa de la capa intermedia (20) y la segunda cantidad corresponde a aproximadamente un 20 % en masa de la capa intermedia (20).
12. Procedimiento de llenado según una de las reivindicaciones 1 a 11, en el que el depósito de almacenamiento térmico es un depósito de tipo termoclina dual.
- 55 13. Procedimiento de fabricación de un depósito de almacenamiento térmico que comprende las etapas de:
- 60 - fabricación de un conjunto formado por un cuerpo cilíndrico (4) y un fondo inferior (8),
- llenado según el procedimiento según las reivindicaciones 1 a 12,
- colocación de un fondo superior (6) para cerrar de manera estanca el depósito,
- 65 - llenado con el fluido caloportador.

ES 2 614 783 T3

14. Procedimiento de fabricación de un depósito de almacenamiento térmico, en el que el depósito comprende al menos dos compartimentos (C1, C2, C3) superpuestos y cada compartimento comprende un lecho de elementos sólidos, estando llenado cada compartimento según el procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 12.
- 5 15. Procedimiento de fabricación según una de las reivindicaciones 13 o 14, en el que los elementos sólidos de la primera granulometría (14.1) son guijarros aluviales y los elementos sólidos de la segunda granulometría (14.2) son arena basada en sílice.
- 10 16. Procedimiento de fabricación de un depósito de almacenamiento térmico según la reivindicación 13, 14 o 15, en el que el fluido caloportador es aceite térmico, por ejemplo Therminol 66®.

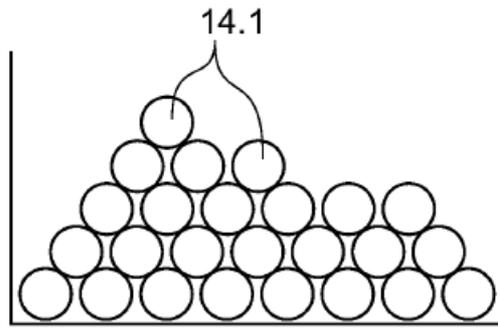


FIG. 1A

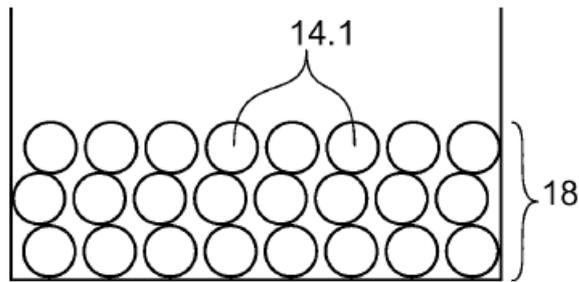


FIG. 1B

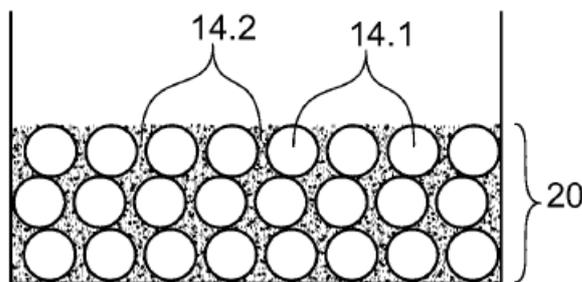


FIG. 1C

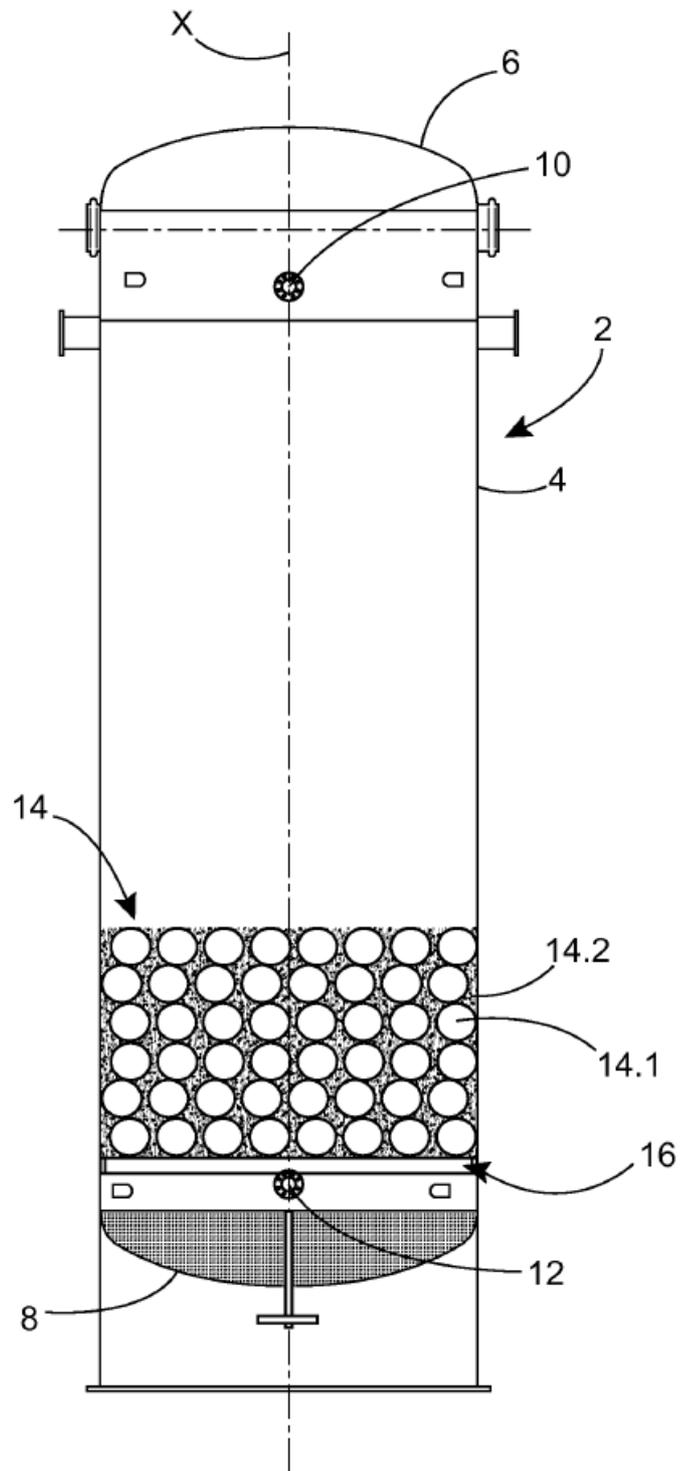


FIG. 2

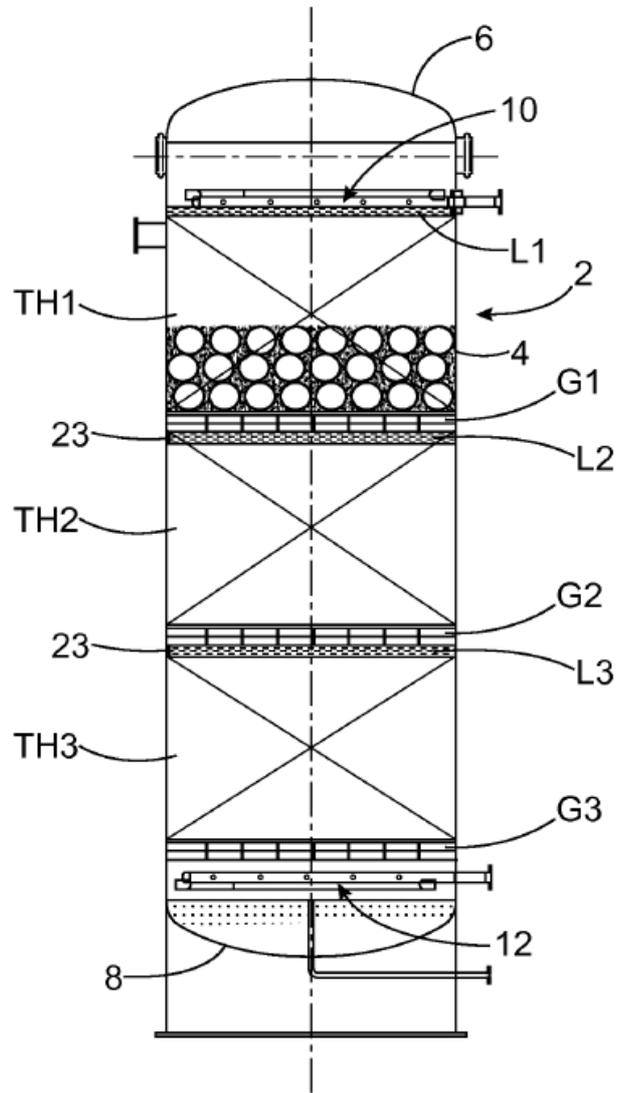


FIG. 3A

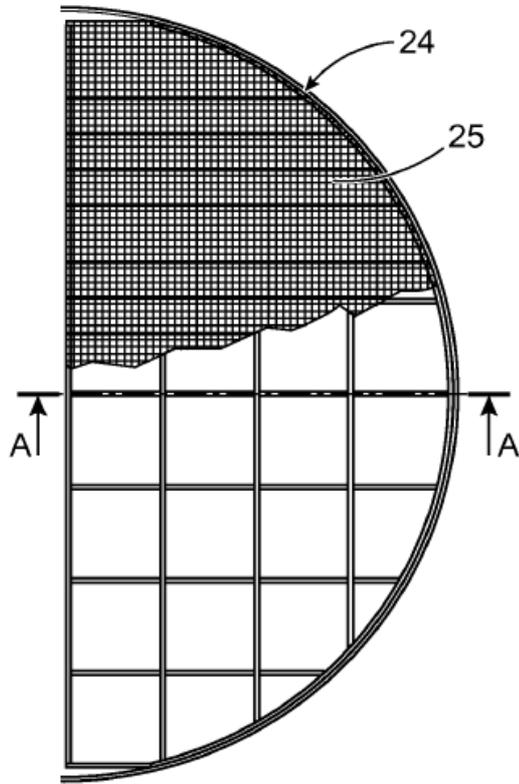


FIG. 3B

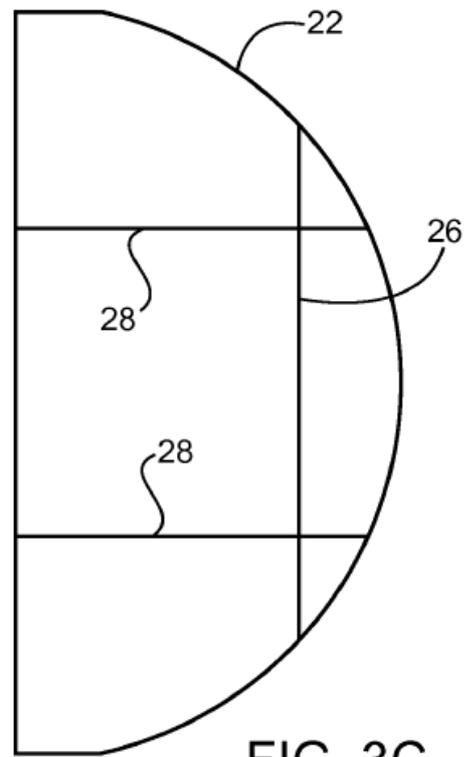


FIG. 3C

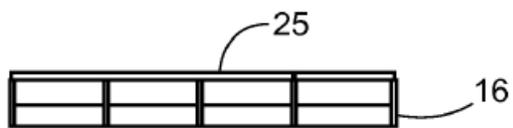


FIG. 3D

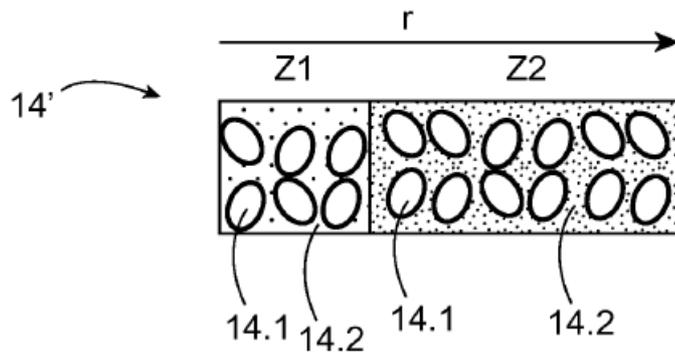


FIG. 4A

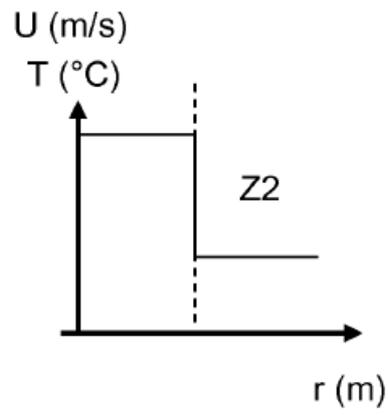


FIG. 4B

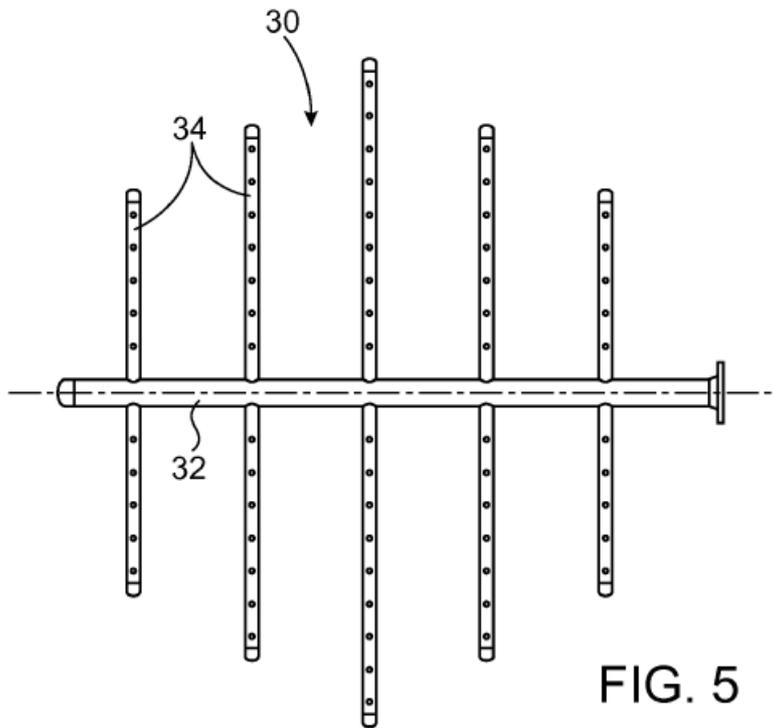


FIG. 5

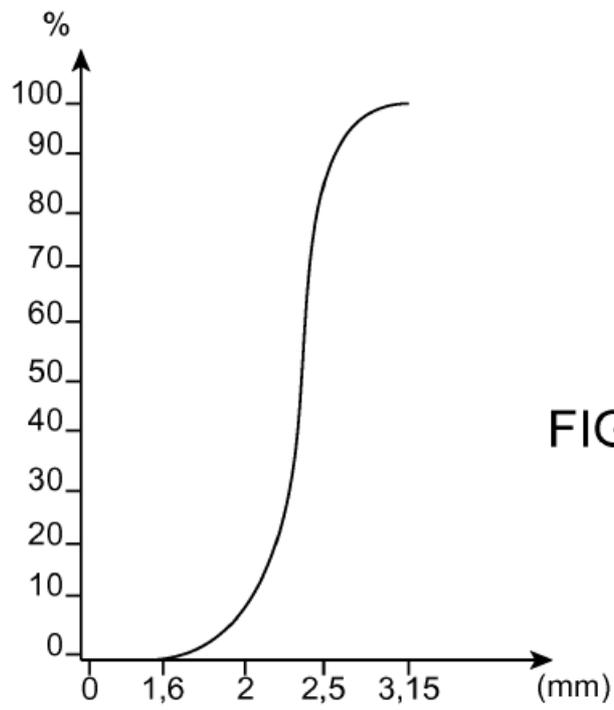


FIG. 6