

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 627 443**

51 Int. Cl.:

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/EP2013/059400**

87 Fecha y número de publicación internacional: **14.11.2013 WO13167538**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **06.05.2013 E 13724192 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **01.03.2017 EP 2847535**

54 Título: **Depósito de almacenamiento de calor de estratificación térmica mejorada**

30 Prioridad:

09.05.2012 FR 1254229

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

28.07.2017

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:

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

74 Agente/Representante:

LINAGE GONZÁLEZ, Rafael

ES 2 627 443 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

Depósito de almacenamiento de calor de estratificación térmica mejorada

5 Campo técnico y técnica anterior

La presente invención se refiere a un depósito de almacenamiento de calor de estratificación térmica mejorada de acuerdo con el preámbulo de la reivindicación 1. El documento FR 2369507 divulga dicho depósito.

10 Numerosos campos y numerosas aplicaciones industriales aplican el almacenamiento de calor. El almacenamiento de calor permite la valorización del calor sometido a procesos industriales, la recuperación de energía excedente o la desvinculación entre el momento de producción de energía térmica y su utilización.

15 A modo de ejemplo, en el campo de la energía solar térmica en concentración (CSP por sus siglas en inglés para «Concentrated Solar Power»), el excedente de calor producido en horas de sol intenso puede almacenarse de este modo para aprovecharlo al final del día.

20 El almacenamiento del 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 (utilizando reacciones químicas endotérmicas y exotérmicas).

25 En el caso de un almacenamiento de calor mediante calor sensible, el calor se almacena mediante la 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 una utilización o una conversión de la energía térmica por medio de un ciclo termodinámico, por ejemplo mediante la utilización de una turbina de vapor, hacen intervenir globalmente dos niveles de temperatura que son las condiciones en los bornes del ciclo. Se busca el mantenimiento de estos dos niveles de temperatura lo más constantes posible con el fin de obtener un funcionamiento optimizado del ciclo. De hecho, a modo de ejemplo, las turbinas de vapor que garantizan la conversión de la 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. Como consecuencia, el almacenamiento asociado a dichos sistemas debe respetar por lo tanto estas características y permitir por ejemplo descargar el calor a un nivel de temperatura constante.

35 Un ejemplo de este tipo de funcionamiento es el campo de la energía solar térmica en concentración donde un sistema de almacenamiento típico se constituye por dos depósitos rellenos de fluido de almacenamiento a dos niveles de temperatura. Uno de los depósitos almacena a una temperatura baja constante y el segundo depósito almacena a una temperatura alta constante. La temperatura de salida del depósito caliente es por lo tanto constante a lo largo de la descarga.

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

45 La utilización de un depósito único permite reducir el número de compuestos, como las bombas, las válvulas, etc. y simplificar los mandos y sistemas de control.

50 En un almacenamiento de tipo termoclina, el material de almacenamiento puede ser un líquido refrigerante o, de forma ventajosa, una mezcla de un fluido refrigerante y de un material sólido barato. La utilización de dicho material sólido permite mejorar más la segregación del fluido caliente y del fluido frío disminuyendo los efectos de remezcla. En este último caso, se habla entonces de «termoclina dual» (o «mixed-media thermocline» en inglés).

55 Este depósito «termoclina dual» presenta la ventaja de reducir la cantidad de líquido necesario, sabiendo que los materiales sólidos de tipo rocas son baratos, se reduce el coste total.

60 En un depósito termoclina, con el fin de tener en cuenta diferencias de masa volumétrica y evitar movimientos de convección natural, el fluido refrigerante se introduce por la parte superior del depósito durante las fases de almacenamiento y por la parte inferior del depósito durante las fases de descarga. El almacenamiento se caracteriza por lo tanto por una zona caliente en la parte superior del depósito, una zona fría en la parte inferior 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 saliente de un frente térmico lo más delgado posible y transversalmente uniforme. Esto permite mantener temperaturas constantes durante las fases de carga y de descarga.

65 Durante las fases de carga, el líquido frío se retira del depósito por la parte inferior y se calienta, por ejemplo atravesando un intercambiador térmico de un colector solar y se devuelve a continuación al depósito por la parte

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

5 El almacenamiento de tipo «termoclina dual» basado en una mezcla de fluido refrigerante líquido y de matriz sólida pone en juego velocidades de fluidos muy débiles del orden de algunos mm/s con el fin de garantizar la transferencia de calor entre el fluido y la carga estática y de limitar las heterogeneidades.

10 Los depósitos termoclina que utilizan una mezcla de un fluido refrigerante y una matriz sólida sufren el problema de la expansión térmica progresiva (o «thermal ratcheting» en inglés): durante las fases de calor, el depósito se dilata y la matriz sólida desciende para ocupar el espacio liberado. Durante las fases de refrigeración, el depósito se contrae y se limita por la capa de rocas compacta. El dimensionamiento de un depósito para un almacenamiento termoclina dual debe encontrar por lo tanto un equilibrio entre:

15 - la fuerza mecánica vinculada al «thermal ratcheting» que se orienta hacia geometrías bastante planas, es decir, un gran diámetro de depósito y una altura débil del depósito con el fin de disminuir la relación de la altura sobre el diámetro;

20 - la hidráulica que se orienta hacia geometrías de tipo cigarro, es decir, diámetro débil y altura elevada del depósito, con el fin de favorecer una distribución homogénea de fluido refrigerante y de mantener un pistón térmico delgado y transversalmente uniforme.

25 En funcionamiento real, dicho sistema de almacenamiento presenta heterogeneidades y el pistón térmico no es perfecto. Estas heterogeneidades pueden proceder:

30 - de heterogeneidades en el reparto de la carga estática que pueden estar vinculadas al llenado inicial del depósito de almacenamiento (mezcla heterogénea, segregación de la roca y de la arena, etc.) o al ciclo térmico de la matriz sólida que «vive» a lo largo de las dilataciones y de las contracciones térmicas del depósito;

- de efectos de borde al nivel de la pared del depósito. Estos efectos de borde son de carácter hidráulico, puesto que la pared induce una heterogeneidad de la carga estática, y de carácter térmico debido a una pared fría en contacto del fluido caliente en la fase de carga y de una pared caliente en contacto con el fluido frío en la fase de descarga;

35 - de una mala distribución del fluido refrigerante en la carga estática.

40 Estas heterogeneidades conducen a la aparición de caminos preferentes, a efectos chimenea que degradan el funcionamiento en el pistón térmico y limitan el buen funcionamiento de la termoclina. En la fase de carga, puede llegarse de este modo a «lenguas» calientes que avancen en el fluido frío. Una fuerte disparidad de temperatura aparece entonces en un plano transversal del depósito. Esto induce, por ejemplo, a que la temperatura de salida del depósito durante una fase de descarga sea constante sobre un intervalo de tiempo más débil, lo que no se desea para el órgano de conversión termodinámica.

Exposición de la invención

45 Como consecuencia, es un objetivo de la invención ofrecer un depósito de almacenamiento de calor de tipo «termoclina dual» que presente una distribución transversal de temperatura homogénea, de modo que alcance valores muy estables de temperatura caliente y de temperatura fría.

50 El objetivo de la presente invención se alcanza mediante un depósito de acuerdo con la reivindicación 1, en particular, un depósito que contiene una matriz sólida y un refrigerante líquido repartidos en diversas etapas en comunicación fluidica, conteniendo cada piso una capa de matriz sólida, estando separadas las capas de matriz sólida de dos etapas consecutivas por una capa de refrigerante líquido en la cual aparezcan movimientos de convección natural en caso de heterogeneidad de temperatura en un plano transversal. Estos movimientos de convección natural garantizan una homogeneización de la temperatura, lo que permite restablecer una homogeneidad de temperatura transversal en las capas de matriz sólida.

60 A modo de ejemplo, en fase de carga, en cada piso, el frente térmico progresando en la capa de matriz sólida desde la parte superior hacia la parte inferior del depósito ve aparecer heterogeneidades transversales de temperatura. Cuando el frente térmico encuentra la capa de líquido refrigerante del piso inferior, del hecho de los movimientos de convección natural, ve alcanzadas estas heterogeneidades transversales. De este modo, en cada paso de una etapa a la otra, se alcanzan las heterogeneidades transversales de temperaturas, lo que permite mantener un pistón térmico.

65 En otras palabras, el depósito de almacenamiento se compartimenta sobre su altura por medio de elementos aptos para dejar circular el líquido, con el fin de crear debajo de cada elemento zonas puramente líquidas por encima de

las zonas sólidas de material de almacenamiento térmico. Caracterizadas por las velocidades muy débiles y una carga estática sólida, las zonas líquidas creadas de este modo permiten reducir las heterogeneidades mediante mecanismos de convección natural y de este modo «reiniciar» el pistón térmico en cada paso desde un compartimento a otro.

5 Los elementos que delimitan los compartimentos son por ejemplo rejillas.

De manera preferente, las zonas sólidas comportan elementos de al menos dos granulometrías, que permiten reducir los espacios vacíos de la matriz sólida y por lo tanto la cantidad de líquido refrigerante necesaria.

10 El fenómeno de «thermal ratcheting» se reduce de forma ventajosa, puesto que cada compartimento presenta una altura débil en relación con su diámetro garantizando un pistón térmico transversalmente uniforme puesto que el depósito presenta una gran altura en relación con su diámetro.

15 La presente invención tiene entonces como objeto un depósito de almacenamiento de calor que contiene un envolvente de eje longitudinal relleno de un líquido refrigerante y de elementos sólidos de almacenamiento térmico, un primer extremo provisto de primeros medios de recogida y de alimentación en un líquido a una primera temperatura y un segundo extremo longitudinal provisto de segundos medios de recogida y de alimentación en un líquido a una segunda temperatura, en el cual dichos elementos sólidos de almacenamiento térmico se reparten en al menos dos capas superpuestas a lo largo del eje longitudinal, separadas por una capa de líquido refrigerante, siendo apto el líquido refrigerante para circular entre el primer extremo longitudinal y el segundo extremo longitudinal. Por ejemplo, cada capa reside sobre un soporte que permite la comunicación fluidica.

20 Al menos uno de los soportes puede contener una estructura portadora y un enrejado recubierto de un recubrimiento metálico.

Los soportes están preferentemente en dos partes.

30 Los elementos sólidos de almacenamiento térmicos presentan de forma ventajosa al menos dos granulometrías diferentes.

La capa de líquido refrigerante tiene preferentemente un grosor comprendido entre 1 cm y 10 cm.

35 Por ejemplo, el envolvente es una virola y la altura de cada capa es inferior al diámetro del envolvente.

Los elementos sólidos de almacenamiento térmico pueden contener bloques de rocas y de arena. Los bloques de roca se forman por ejemplo a partir de rocas aluviales. El líquido refrigerante es por ejemplo un aceite térmico.

40 Los primeros y/o los segundos medios de recogida y de alimentación contienen de forma ventajosa medios de distribución que garantizan una homogeneidad transversal de la velocidad axial del fluido.

45 El envolvente puede ser una virola. Los segundos medios de distribución pueden contener un conducto de alimentación que se extienda siguiendo el diámetro de la virola y conductos de distribución que se extiendan lateralmente desde el conducto de alimentación, estando provistos dichos conductos de distribución de orificios repartidos a lo largo de su longitud. De forma ventajosa, los conductos de distribución presentan longitudes diferentes de tal manera que el contorno de los medios de distribución tiene sensiblemente la forma de un círculo.

50 Los segundos medios de alimentación y de recogida pueden aislarse de los elementos sólidos de almacenamiento térmicos.

La presente invención tiene igualmente como objeto una central solar que contiene al menos un depósito de calor de acuerdo con la invención.

55 La central solar puede ser una central solar del tipo Fresnel o una central solar de torre.

Los primeros y los segundos medios de recogida y de alimentación del depósito pueden conectarse entonces a una turbina.

60 Breve descripción de los dibujos

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

65 - la figura 1 es una vista en corte longitudinal de un ejemplo de realización de un depósito de almacenamiento de calor de acuerdo con la invención,

- la figura 2 es una vista detallada del depósito de la figura 1 representada de forma esquemática que ilustra el funcionamiento del depósito,

5 - las figuras 3A y 3B son vistas de la parte superior de un ejemplo de realización de soportes destinados a delimitar los compartimentos en el depósito,

- la figura 3C es una vista en corte que sigue el plano A-A de la figura 3A,

10 - la figura 4 es una vista de la parte superior de un ejemplo de realización de un distribuidor que puede aplicarse en el depósito de acuerdo con la invención,

- la figura 5A es una vista en corte longitudinal esquemática de un depósito de acuerdo con la invención sobre la cual se representan planos de medición de la temperatura,

15 - las figuras 5B y 5C son vistas en corte transversales del reparto de termopares en el líquido refrigerante y en los planos diferentes de la capa sólida respectivamente,

20 - las figuras 6A a 6D son representaciones gráficas de las mediciones de temperaturas proporcionadas por los termopares en los niveles diferentes de las etapas diferentes del depósito de la figura 5A.

Exposición detallada de modos de realización particulares

En la descripción siguiente, los términos «piso» o «compartimento» se utilizarán indistintamente.

25 Los términos «inferior», «superior», «parte superior» y «parte inferior» se consideran en relación con la orientación del depósito en la figura 1.

En la figura 1, puede verse una vista en corte longitudinal de un ejemplo de depósito de almacenamiento de calor de acuerdo con la invención.

30 El depósito contiene un envolvente 2 cilíndrico de eje longitudinal X. En el ejemplo representado, el depósito presenta una sección circular.

35 El eje longitudinal X está destinado a estar orientado sensiblemente verticalmente como en la representación de la figura 1.

El envolvente 2 está formado por una virola 4 y por dos fondos bombeados 6, 8 que cierran los extremos longitudinales superior e inferior respectivamente de la virola 4.

40 El depósito contiene medios de admisión y de recogida 10 de líquido caliente situados en el fondo bombeado superior 6 del depósito y medios de admisión y de recogida 12 del líquido frío situados en el fondo bombeado inferior 8 en la parte baja del depósito.

45 El interior del depósito está dividido en diversos compartimentos C1, C2, C3 que se superponen a lo largo del eje longitudinal X. Cada compartimento C1, C2, C3 contiene un fondo G1, G2, G3 que forma el soporte que garantiza la retención de elementos de almacenamiento térmicos sólidos permitiendo la comunicación fluidica entre los compartimentos y una capa TH1, TH2, TH3 de elementos sólidos de almacenamiento térmico. Solo la capa TH1 se representa con elementos sólidos.

50 Además, una capa de líquido refrigerante L1, L2, L3 recubre las capas TH1, TH2, TH3 de elementos de almacenamiento térmicos sólidos.

55 El volumen útil del depósito no contiene una zona de vacío, aunque el volumen no ocupado por los elementos sólidos se rellene con el fluido refrigerante. La zona situada por encima de la capa TH1 y delimitada por el fondo bombeado 6 no se rellena de líquido y forma un cielo para la evacuación de los vapores.

60 En el ejemplo representado, la zona situada bajo la capa TH3 delimitada por el fondo bombeado inferior 8 está llena de líquido de un material sólido, por ejemplo, de tipo hormigón. Esto permite además disminuir la cantidad de fluido refrigerante aplicada.

Los elementos de almacenamiento térmico están formados por ejemplo por rocas y/o arena. Preferentemente, los elementos presentan al menos dos granulometrías que garantizan de este modo un buen llenado y que reducen los espacios libres para el líquido refrigerante. De forma ventajosa, los elementos de almacenamiento térmico sólidos están formados por bloques de rocas y de arena que rellenan los espacios entre las rocas.

65 Cada granulometría corresponde a un diámetro d50 de elementos sólidos, definido como el valor para el cual el 50

% de los elementos sólidos tienen un diámetro inferior a d50. El diámetro d50 se designa igualmente como la mediana.

5 Preferentemente, se elige un factor 10 entre las medianas de las dos granulometrías, lo que permite el llenado del espacio libre entre las rocas grandes por las rocas pequeñas. Por ejemplo, las rocas grandes tienen un diámetro de alrededor de 3 cm y las rocas pequeñas tienen un diámetro de alrededor de 3 mm. El reparto del volumen es el siguiente: aproximadamente el 75 % de rocas grandes y el 25 % de rocas pequeñas de volumen.

10 Puede tratarse por ejemplo de rocas aluviales compuestas principalmente de silicio. Las rocas se eligen en función de sus características vinculadas a la capacidad de almacenamiento térmico y a su comportamiento térmico (masa volumétrica, capacidad térmica másica y conductividad térmica) y en su compatibilidad con el líquido refrigerante, por ejemplo la compatibilidad entre la naturaleza geológica de la roca y del líquido refrigerante.

15 El líquido refrigerante es por ejemplo aceite o sales fundidas. Por ejemplo, el aceite puede ser Therminol66[®] o Jarytherm DBT[®], no mostrando la misma interacciones particulares con las rocas aluviales, de manera más general los aceites térmicos de síntesis de alta temperatura pueden acordar la utilización con las rocas aluviales.

20 Con fines de simplicidad, las «capas de elementos de almacenamiento térmico sólidos» se designarán a continuación como «capa de almacenamiento térmico».

Los soportes están adaptados por lo tanto para soportar de forma mecánica las capas de almacenamiento térmico, para retener los elementos de granulometría débil, como la arena, y para dejar pasar el líquido refrigerante.

25 En las figuras 3A a 3C, pueden verse detalles de un soporte F1 de acuerdo con un ejemplo de realización.

De manera ventajosa, el soporte G1 está formado por dos semisoportes que facilitan su montaje en la virola 4. Un soporte en una única pieza no sale del ámbito de la presente invención.

30 En las figuras 3A y 3B, puede verse una estructura portadora 14 en forma de semidisco y un enrejado 16 en forma de semidisco recubierto de una rejilla 18 que repose en la estructura portadora 14.

La estructura portadora 14 está formada por barras portadoras paralelas 20 solidarizadas entre ellas por transversales 22 y que realizan una estructura en forma de semicírculo.

35 En la figura 3C, puede verse una vista en corte de acuerdo con un plano A-A de la figura 3A del enrejado 16 y de la rejilla 18.

La rejilla 18 está formada por ejemplo por una tela metálica cuyo tamaño de las mallas es de tal manera que garantiza la retención de los elementos sólidos de granulometrías más débiles.

40 Cada soporte G1, G2, G3 está suspendido en la virola mediante un saliente anular 23 que rodea la superficie interior de la virola a la altura deseada.

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

En la figura 4, puede verse un ejemplo de realización ventajosa de medios de distribución vistos anteriormente.

50 Los medios de distribución 24 contienen un conducto de alimentación 26 unido a la alimentación de líquido exterior y conductos de distribución 28 conectados al conducto de alimentación y que se extienden transversalmente en relación con el mismo. En el ejemplo representado, los conductos de distribución 28 son perpendiculares al conducto de alimentación 26. Cada conducto está provisto de una pluralidad de orificios de distribución que garantiza una distribución del líquido a lo largo de su eje.

55 El conducto principal se extiende de forma ventajosa a lo largo de un diámetro de la virola. De manera ventajosa igualmente, los conductos de distribución presentan longitudes diferentes en función de su posición a lo largo del conducto principal de tal manera que los medios de distribución cubren de manera sensiblemente homogénea toda la sección transversal de la virola.

60 Pueden contemplarse otras formas de medios de distribución, preferentemente estas formas que garantizan un reparto homogéneo de los líquidos que alimentan el depósito.

En la figura 2, pueden verse representadas de forma esquemática una parte superior de un compartimento C2 y una parte inferior del compartimento C1.

65 Puede verse la capa de líquido L2 por encima de la capa de almacenamiento térmico TH2 y por debajo del soporte

G1 que está recubierto de la capa de almacenamiento térmico TH1.

La flecha F simboliza los movimientos de convección natural que aparecen en la capa de líquido L2 cuando es el lugar de las heterogeneidades transversales de temperatura.

5 En caso de heterogeneidades transversales de temperatura, aparecen gradientes de temperatura y por lo tanto gradientes de masa volumétrica de líquido en las capas líquidas, lo que conduce a la aparición de movimientos de convección natural que tienden a reducir este gradiente.

10 Preferentemente, el grosor de las capas de líquido es del orden de 1 cm a 10 cm.

Se ha constatado que, para grosores inferiores a 1 cm, la función de remezcla global está menos garantizada porque las células de convección que se crean tienen un efecto más local.

15 Para grosores superiores a 10 cm, se conserva la eficacia de la función de remezcla. En cambio, cuanto mayor es el grosor de la capa de líquido refrigerante, más importante es la cantidad de líquido. Además, el coste del líquido es elevado. Da como resultado que un depósito con capas líquidas que presenten un grosor importante sea económicamente menos interesante. Además, los grosores demasiado importantes de capas líquidas se traducirían en una remezcla axial demasiado importante que reduciría la eficacia de la termoclina.

20 De manera ventajosa, los compartimentos presentan todos sensiblemente la misma altura y la misma composición de cantidad de líquido y de cantidad de elementos sólidos de manera que garantizan un componente homogéneo en toda la altura del depósito.

25 La altura del depósito de almacenamiento está por lo tanto «recortada» en diversas regiones de altura h_i : h_1 , h_2 , h_3 que pueden variar de algunas decenas de centímetros a algunos metros. La altura de las capas se elige en la práctica de manera que conserva una relación $h_i/D < 1$, lo que permite reducir el fenómeno mecánico de «thermal ratcheting».

30 A modo de ejemplo únicamente, un depósito que presenta una temperatura baja de 150 °C y una temperatura alta de 300 °C puede contener una virola que presente un diámetro de 2500 mm, tres compartimentos que contengan cada uno una capa de almacenamiento térmico de altura igual a 1900 mm y una capa de líquido refrigerante que tenga un grosor de 100 mm.

35 Vamos a mostrar ahora la eficacia de la estructura del depósito de acuerdo con la invención.

Para ello, se considera un depósito de cuatro compartimentos. Se efectúan mediciones de temperatura en las capas de líquido L1 a L3 y a alturas diferentes en cada capa de almacenamiento térmico TH1, TH2, TH3, TH4 y en diversos puntos de planos transversales de cada capa correspondiente a alturas diferentes. Las alturas diferentes de medición se representan en la figura 5A. Los puntos diferentes de medición por la altura se representan en el corte de la figura 5C para las rocas y en el corte de la figura 5B para el líquido. Las mediciones se hacen en el medio de los termopares.

40 Las mediciones se representan en los gráficos de las figuras 6A a 6D para cada uno de los compartimentos C1 a C4 respectivamente.

La carga se realiza a la temperatura de 170 °C y el depósito está inicialmente por completo a la temperatura de 60 °C.

50 El saliente del frente térmico se simboliza con la flecha Fth en las representaciones gráficas.

El análisis de las mediciones de temperatura muestran que, en el compartimento superior C1, se distinguen tres grupos de curvas correspondientes al plano C1-3, al plano C1-2 y al plano C1-1. A medida que el frente térmico progresa en la virola a lo largo del eje X, aparece una heterogeneidad en la temperatura: de hecho, se constata que las curvas se agrupan cada vez menos, lo que se traduce en la existencia de diferencias de temperatura entre puntos de medición situados en un mismo plano. La heterogeneidad de la temperatura crece de este modo desde el plano C1-1 hacia el plano C1-3.

60 El paso del compartimento C1 al compartimento 2 se traduce mediante un fortalecimiento de las curvas en el plano C2-1 en relación con las del plano C1-3 (figura 6A), lo que significa una disminución de la heterogeneidad de la temperatura en el plano C2-1 en relación con el plano C1-3.

El paso por la capa líquida L2 entre las capas TH1 y TH2 permite reducir el escalonamiento del grupo de curvas, es decir, reducir la heterogeneidad en la temperatura.

65 El mismo fenómeno aparece en cada uno de los pasos de un compartimento a otro durante el paso de una capa

líquida.

5 En los compartimentos C3 y C4, se observan solamente dos grupos de curvas: un primer grupo bien fortalecido correspondiente a los planos C3-1 y C4-1 y un grupo de curvas escalonadas correspondientes a las dos capas siguientes de medición C3-2 y C3-3 y C4-2 y C4-3. Esto ilustra una heterogeneidad en el depósito debido a la capa de rocas. Sin embargo, el paso por la capa líquida L4 permite restablecer la homogeneidad en la temperatura.

10 En un depósito de acuerdo con la invención, la reducción de las heterogeneidades en la temperatura durante el paso por una capa únicamente líquida se ha observado de forma experimental incluso en caso de heterogeneidad fuerte de la temperatura en un plano situado en sentido ascendente de la capa líquida. La capa de líquido permite igualmente retrasar la desestabilización de la termoclina puesto que la dispersión en la temperatura en los planos C2-1, C3-1 y C4-1 es más débil que en el plano C1-3.

15 El depósito presenta entonces un funcionamiento mejorado que se acerca al funcionamiento en el pistón térmico. El depósito de acuerdo con la invención ayuda por lo tanto a mantener una temperatura constante en la salida del depósito.

20 Además, la proporción útil del depósito se aumenta. De hecho, la reducción de las heterogeneidades transversales en la temperatura permite obtener un porcentaje de volumen más importante del depósito a temperatura constante.

Además, gracias a la invención, es posible combinar las ventajas de una relación débil de altura de la capa sobre el diámetro de la virola y de una relación de la altura total sobre el diámetro de la virola elevada.

25 De hecho, la segmentación de la capa de elementos sólidos permite alcanzar, para cada compartimento, una relación de altura de la capa de almacenamiento térmico sobre el diámetro de la virola inferior a 1, lo que permite reducir el efecto de «thermal ratcheting» y por lo tanto garantizar una buena fuerza mecánica. Y de forma simultánea, la segmentación permite tener una altura total de capa de elementos sólidos importante y por lo tanto una relación de altura total sobre el diámetro grande. Se obtienen por lo tanto propiedades de almacenamiento importantes en la duración y en el volumen de la zona isotérmica.

30 Además, gracias a la invención, es imposible reducir el grosor de la virola en relación con las del estado de la técnica puesto que la presión vinculada a los materiales sólidos de almacenamiento se reparte en los compartimentos diferentes. Además, el fenómeno de compactación durante los ciclos térmicos se reparte en los compartimentos diferentes.

35 Además, gracias al reparto en compartimentos, los medios de distribución situados en el fondo inferior del depósito se aíslan de los elementos sólidos de almacenamiento térmico, ya no se someten más entonces a las limitaciones mecánicas vinculadas por ejemplo a la compactación de esta matriz durante ciclos térmicos.

40 El depósito de acuerdo con la invención puede utilizarse para almacenar el calor de cualquier sistema que produzca calor.

45 Está adaptado particularmente a la utilización con sistemas que utilicen líquidos que presenten temperaturas controladas y constantes, como turbinas.

El depósito de acuerdo con la presente invención está adaptado particularmente a una utilización en una central solar de tipo Fresnel para alimentar una turbina. Puede utilizarse igualmente en una central solar de torre.

REIVINDICACIONES

1. Depósito de almacenamiento de calor que contiene un envolvente (2) de eje longitudinal (X) relleno de un líquido refrigerante y de elementos sólidos de almacenamiento térmico, un primer extremo provisto de primeros medios de recogida y de alimentación (10) en un líquido a una primera temperatura y un segundo extremo longitudinal provisto de segundos medios de recogida y de alimentación (12) en un líquido a una segunda temperatura, estando dicho depósito caracterizado porque dichos elementos sólidos de almacenamiento térmico están repartidos en al menos dos capas (TH1, TH2, TH3) superpuestas a lo largo del eje longitudinal (X), separadas por una capa de líquido refrigerante (L1, L2, L3), siendo apto el líquido refrigerante para circular entre el primer extremo longitudinal y el segundo extremo longitudinal.
2. Depósito de acuerdo con la reivindicación 1, en el cual cada capa (TH1, TH2, TH3) reposa sobre un soporte (G1, G2, G3) que permite la comunicación fluídica.
3. Depósito de acuerdo con la reivindicación 2, en el cual al menos uno de los soportes (G1, G2, G3) contiene una estructura portadora (14) y un enrejado (16) recubierto de un recubrimiento metálico (18).
4. Depósito de acuerdo con la reivindicación 2 o 3, en el cual los soportes (G1, G2, G3) están en dos partes.
5. Depósito de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 4, en el cual los elementos sólidos de almacenamiento térmico presentan al menos dos granulometrías diferentes.
6. Depósito de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 5, en el cual la capa de líquido refrigerante (L1, L2, L3) tiene un grosor comprendido entre 1 cm y 10 cm.
7. Depósito de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 6, en el cual el envolvente (2) es una virola y en el cual la altura de cada capa (G1, G2, G3) es inferior al diámetro del envolvente (2).
8. Depósito de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 7, en el cual el líquido refrigerante es un aceite y/o en el cual los elementos sólidos de almacenamiento térmico contienen bloques de roca y de arena, estando formados dichos bloques de roca de forma ventajosa a partir de rocas aluviales.
9. Depósito de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 8, en el cual los primeros (10) y/o los segundos (12) medios de recogida y de alimentación contienen medios de distribución (24) que garantizan una homogeneidad transversal de la velocidad axial del fluido.
10. Depósito de acuerdo con la reivindicación 9, en el cual el envolvente (2) es una virola y los segundos medios de distribución (24) contienen un conducto de alimentación (26) que se extiende siguiendo el diámetro del envolvente (2) y conductos de distribución (28) que se extienden lateralmente desde el conducto de alimentación, estando provistos dichos conductos de distribución (28) de orificios repartidos a lo largo de su longitud.
11. Depósito de acuerdo con la reivindicación 10, en el cual los conductos de distribución (28) presentan longitudes diferentes de manera que el contorno de los medios de distribución (24) tiene sensiblemente la forma de un círculo.
12. Depósito de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 11, en el cual los segundos medios de alimentación y de recogida (12) están aislados de los elementos sólidos de almacenamiento térmico.
13. Central solar que contiene al menos un depósito de calor de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 12.
14. Central solar de acuerdo con la reivindicación 13, en la cual la central solar es una central solar de tipo Fresnel o una central solar de torre.
15. Central solar de acuerdo con la reivindicación 13 o 14, en la cual los primeros (10) y los segundos (12) medios de recogida y de alimentación del depósito están conectados a una turbina.

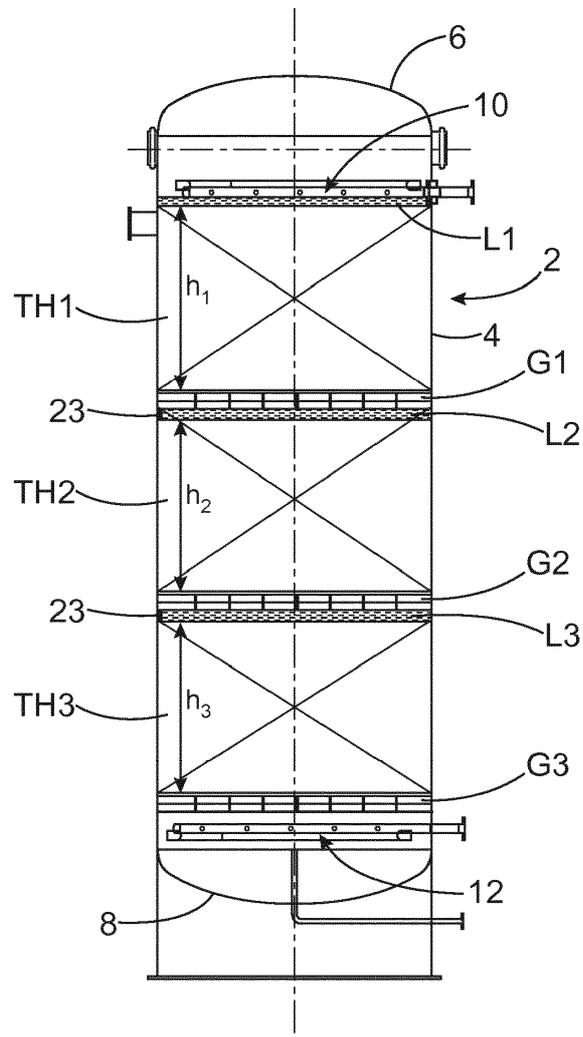
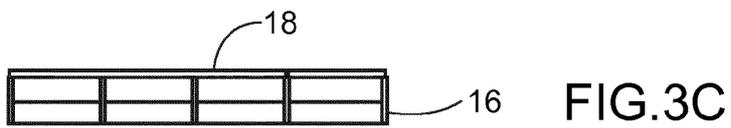
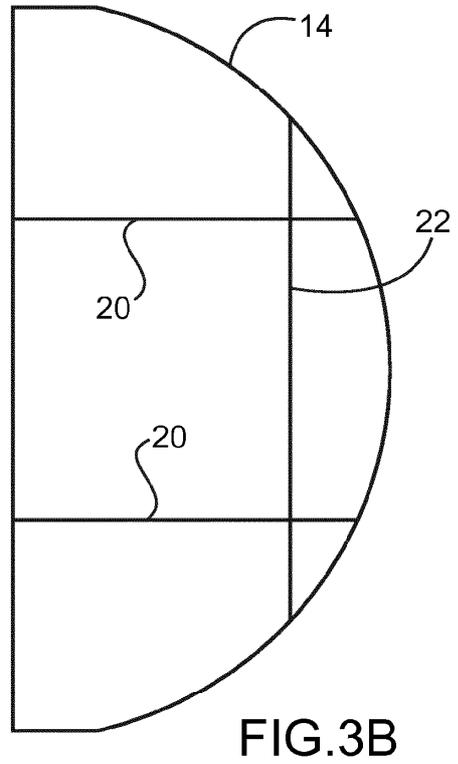
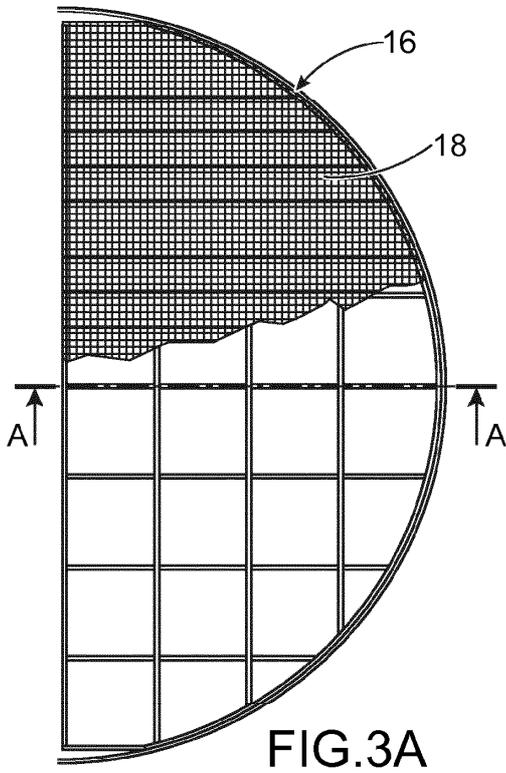
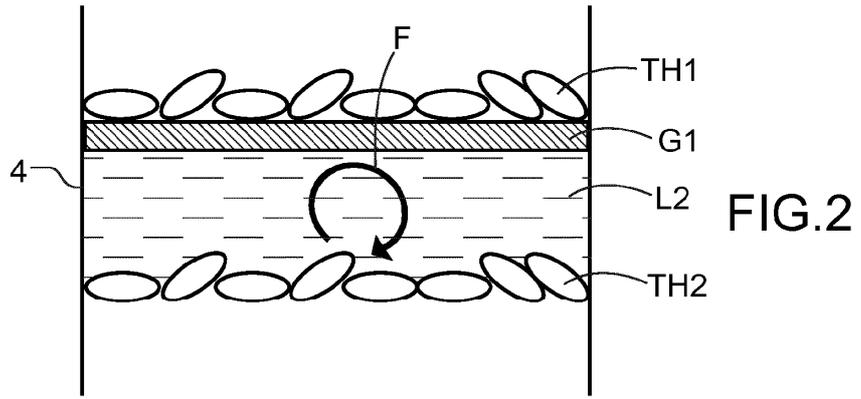


FIG.1



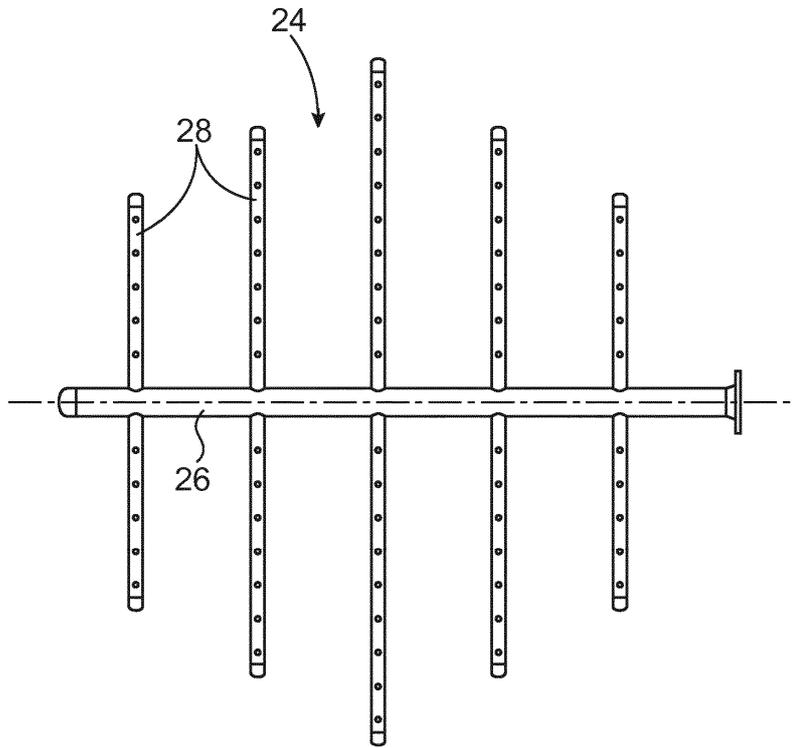


FIG.4

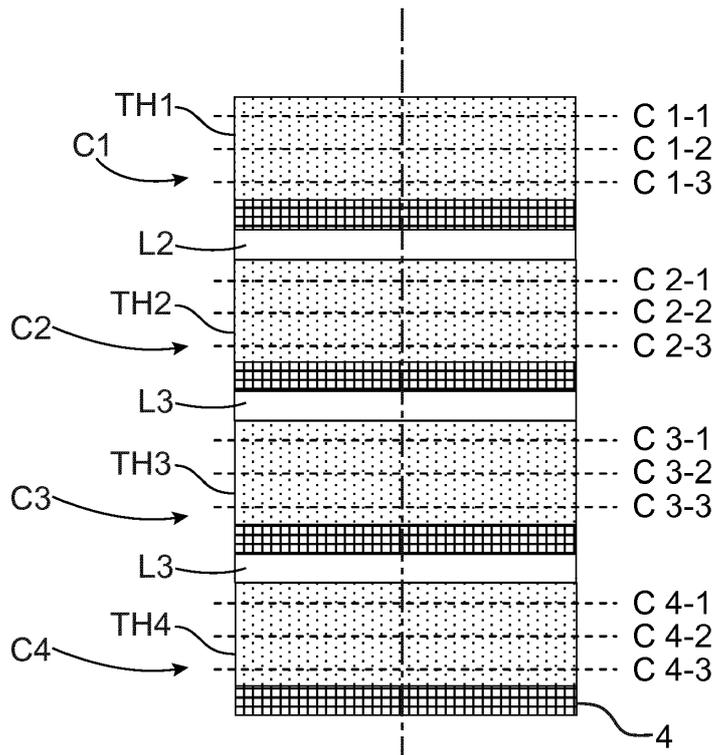


FIG. 5A

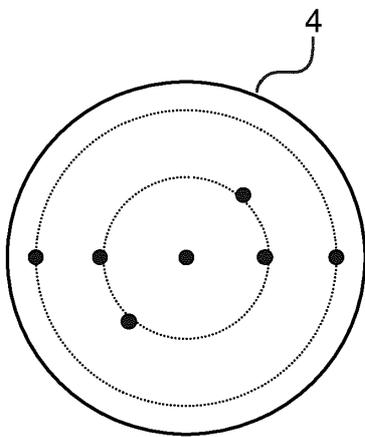


FIG. 5B

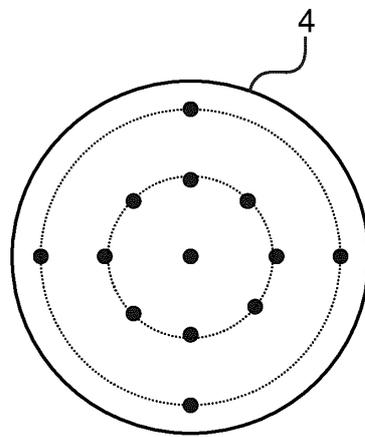
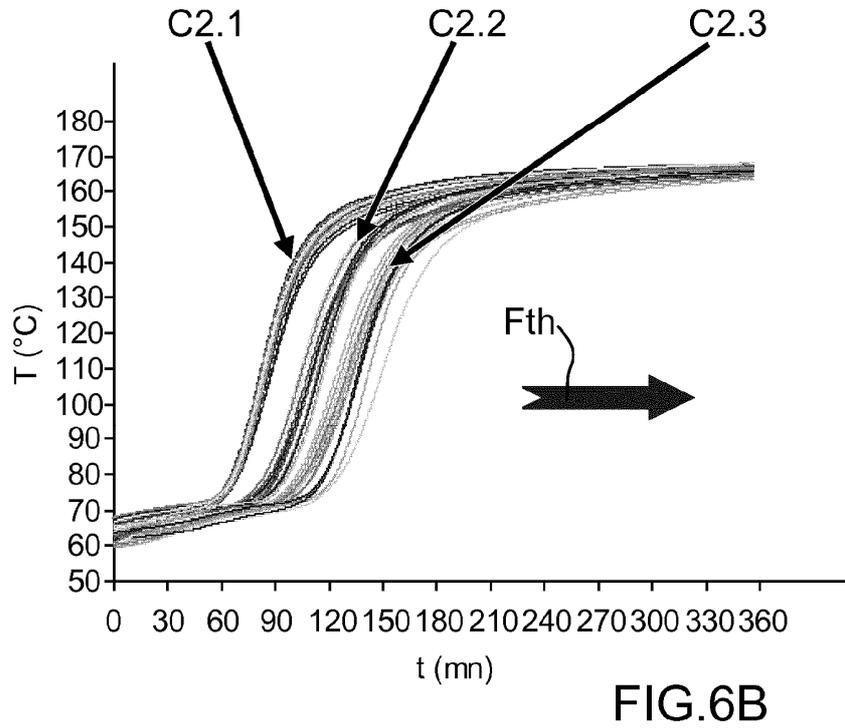
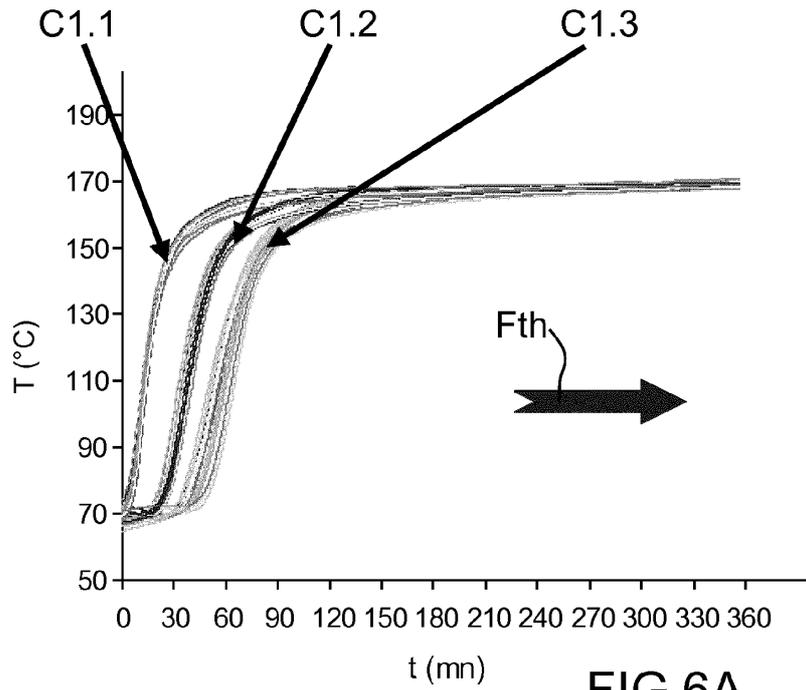


FIG. 5C



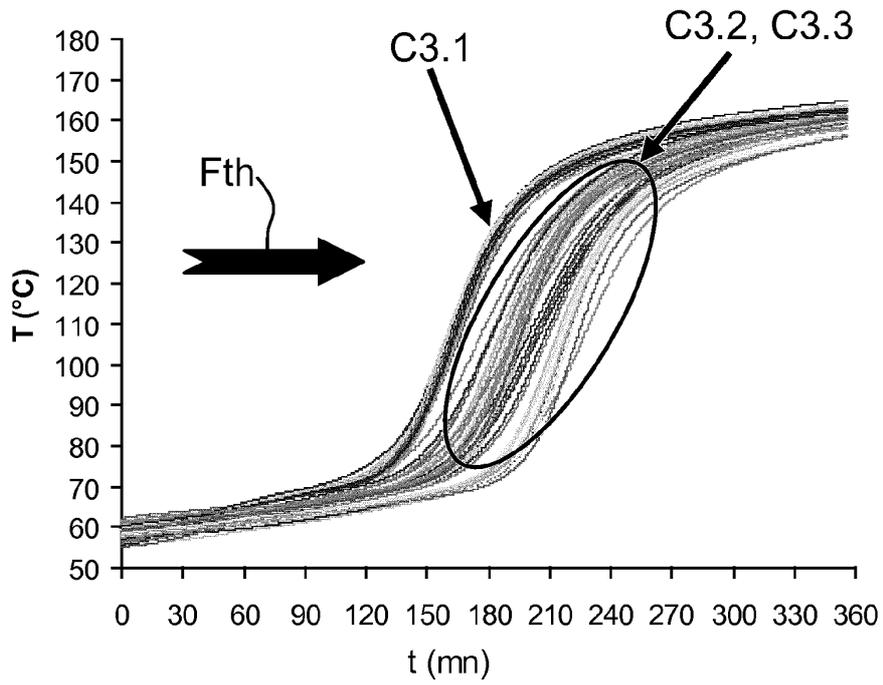


FIG.6C

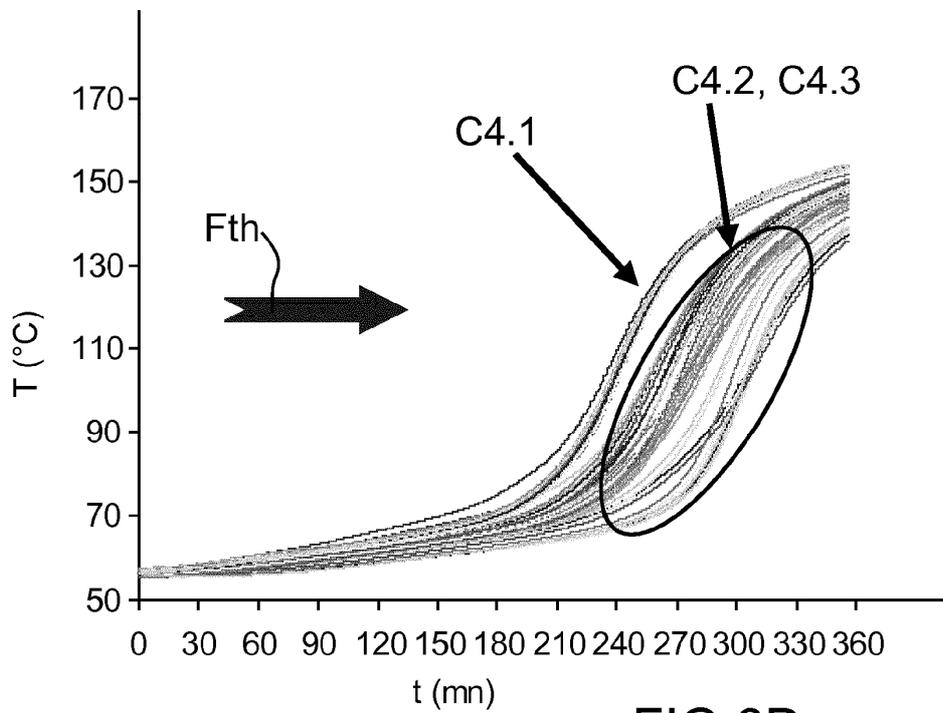


FIG.6D